



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>G06F 17/14</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 99/30251</b>
		(43) Date de publication internationale: 17 juin 1999 (17.06.99)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR98/02636

(22) Date de dépôt international: 7 décembre 1998 (07.12.98)

(30) Données relatives à la priorité:  
97/15737 8 décembre 1997 (08.12.97) FR(71) Déposants (pour tous les Etats désignés sauf US): FRANCE  
TELECOM (S.A.) [FR/FR]; 6, place d'Alleray, F-75015  
Paris (FR). TELEDIFFUSION DE FRANCE - TDF (S.A.)  
[FR/FR]; 10, rue d'Oradour-sur-Glane, F-75732 Paris  
Cedex 15 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): JALALI, Ali [FR/FR];  
Bâtiment K No. 234, 32, rue Mirabeau, F-35700 Rennes  
(FR). LERAY, Pierre [FR/FR]; La Grosse Roche, F-35340  
Liffre (FR). LACROIX, Dominique [FR/FR]; 18, square  
Alain Fergent, F-35000 Rennes (FR).(74) Mandataires: BEAUFILS, Yves etc.; Cabinet Ballot-Schmit,  
4, rue Général Hoche, F-56100 Lorient (FR).(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY,  
DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT,  
SE).

## Publiée

Avec rapport de recherche internationale.

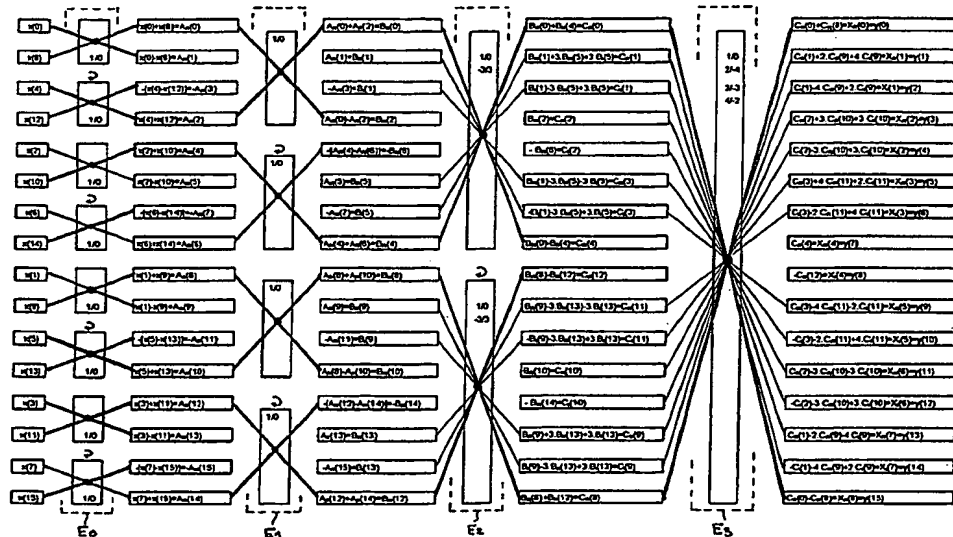
Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des  
revendications, sera republiée si des modifications sont  
reçues.

(54) Title: METHOD FOR COMPUTING FAST FOURIER TRANSFORM AND INVERSE FAST FOURIER TRANSFORM

(54) Titre: PROCÉDE DE CALCUL DE LA TRANSFORMÉE DE FOURIER RAPIDE ET DE LA TRANSFORMÉE DE FOURIER  
RAPIDE INVERSE

## (57) Abstract

The invention concerns a method for computing the fast Fourier transform and the inverse fast Fourier transform of a series of  $N$  real samples  $x(n)$ , with  $N$  power of 2, functioning on the basis of an algorithm with time interlace and delivering the series of samples  $X(n)$  in ascending order of the index  $n$  and which uses reduced computing and storing means. The invention also concerns a method for computing the fast Fourier transform and the inverse fast Fourier transform of a series of  $N$  conjugated complex samples  $X(n)$ , with  $N$  power of 2, functioning on the basis of an algorithm with frequential interlace. The invention is useful for treating images or acoustic signals and for multicarrier modulation.



(57) Abrégé

L'invention concerne un procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse d'une suite de N échantillons réels  $x(n)$ , avec N puissance de 2, fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement temporel et délivrant la suite des échantillons  $X(n)$  dans l'ordre croissant de l'indice n et qui utilise des moyens de calcul et de stockage réduits. L'invention concerne également un procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse d'une suite de N échantillons complexes conjugués  $X(n)$ , avec N puissance de 2, fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement fréquentiel. Application: traitement d'images ou de signaux acoustiques, modulation multiporteuse.

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce		de Macédoine	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	ML	Mali	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MN	Mongolie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MR	Mauritanie	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MW	Malawi	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	MX	Mexique	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NE	Niger	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NL	Pays-Bas	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NO	Norvège	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	NZ	Nouvelle-Zélande		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PL	Pologne		
CN	Chine	KZ	Kazakhstan	PT	Portugal		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RO	Roumanie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	RU	Fédération de Russie		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SD	Soudan		
DK	Danemark	LR	Libéria	SE	Suède		
EE	Estonie			SG	Singapour		

PROCEDE DE CALCUL DE LA TRANSFORMEE DE FOURIER RAPIDE  
ET DE LA TRANSFORMEE DE FOURIER RAPIDE INVERSE

L'invention concerne un procédé de calcul de la  
5 transformée de Fourier rapide ou de la transformée de  
Fourier rapide inverse d'une suite de nombres réels ou  
d'une suite d'échantillons complexes conjugués.

La transformée de Fourier est sans doute l'un des  
10 outils les plus importants dans l'analyse, la  
conception et la mise en oeuvre des algorithmes  
relevant du traitement du signal, et l'existence  
d'algorithmes efficaces tels que celui de la  
transformée de Fourier rapide a largement contribué à  
15 cette situation. Quoique la plupart des algorithmes de  
transformée de Fourier soient conçus pour transformer  
des suites de nombres complexes, il existe cependant de  
nombreuses applications, telles que le traitement  
d'images ou de signaux acoustiques ou certains types de  
20 la modulation multiporteuse, dans lesquelles les suites  
à transformer sont des nombres réels.

De façon générale, la transformée de Fourier directe et  
la transformée de Fourier inverse établissent  
25 respectivement entre deux suites de N nombres  
complexes,  $x(n)$  et  $X(n)$ , les relations suivantes :

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) w^{kn} \quad \text{avec } n \in [0 \dots N-1] \quad \text{et } w^{kn} = e^{-j \frac{2\pi kn}{N}}$$

30 
$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) w^{-kn} \quad \text{avec } n \in [0 \dots N-1]$$

En 1965, J.W Cooley et J.W Tukey ont décrit un algorithme permettant de calculer rapidement la transformée de Fourier d'une suite de N nombres complexes dans un article intitulé "An Algorithm for  
5 the Machine Calculation of Complex Fourier Series", Math. Computation, Vol.19, 1965, pp.297-301. Cet algorithme est très intéressant lorsque N est une puissance de deux car il est alors particulièrement simple à mettre en oeuvre. Cet algorithme requiert  $\mu$   
10 étapes de calcul où  $\mu = \log_2(N)$ . Il repose sur une décomposition de la suite à transformer en deux sous-suites entrelacées. Il existe deux types d'entrelacement : l'entrelacement temporel et l'entrelacement fréquentiel. Ces deux types  
15 d'entrelacement seront exposés plus en détail dans la suite de la description en référence aux figures 1A et 1B.

Des algorithmes particuliers ont été développés à partir de cet algorithme de base pour traiter le cas  
20 des suites de nombres réels. La transformation de Fourier d'une suite de 8 nombres réels selon un algorithme avec entrelacement temporel et selon un algorithme avec entrelacement fréquentiel est illustrée  
25 aux figures 1A et 1B. Pour chaque algorithme de transformée de Fourier avec entrelacement temporel, il existe un algorithme avec entrelacement fréquentiel qui correspond à une double inversion de la suite des opérations de transformation d'une part, et, pour  
30 chaque circuit croisillon, des opérations de transformation en elles-mêmes d'autre part. Quel que soit l'entrelacement choisi, le procédé de transformation nécessite trois étapes de transformation

E0, E1 et E2, lesquelles étapes sont mises en oeuvre par un jeu de quatre circuits croisillons CC, communément appelés "butterfly" en langage technique. Chaque circuit croisillon, représenté sur la figure par un point de croisement entre deux colonnes de nombres, effectue des opérations de calcul sur deux nombres, réels ou complexes. Les symboles R et C identifient respectivement un nombre réel et un nombre complexe. L'ordre des nombres réels et/ou complexes à l'issue des étapes de transformation est dépendant de l'entrelacement choisi.

L'algorithme avec entrelacement temporel est généralement choisi pour calculer la transformée de Fourier d'une suite de nombres réels en raison de la répartition symétrique des nombres réels et complexes à travers les étapes. En revanche, l'algorithme avec entrelacement fréquentiel est plus adapté pour la transformation directe ou inverse d'une suite nombres complexes conjugués.

Lorsque la suite à transformer  $x(n)$  est réelle, la transformée de Fourier vérifie la relation suivante:

$$x(n) \text{ est réelle si et seulement si } X(n) = X^*(-n) = X^*(N-n); \quad (1)$$

où \* désigne l'opération de conjugaison.

Pour une suite  $x(n)$  de N nombres réels, on déduit de cette relation les résultats suivants:

- $X(0)$  et  $X(N/2)$  sont réels;
- $X(n) = X^*(N-n)$  pour  $1 \leq n \leq N/2 - 1$

La relation (1) met en évidence la présence d'informations redondantes dans la suite  $X(n)$ .

Il convient de noter que le procédé de transformation est généralement mis en oeuvre par un unique jeu de circuits croisillons dont le mode opératoire est modifié au fur et à mesure de la transformation. A  
5 chaque changement de mode opératoire, les résultats sont stockés dans une mémoire comportant N emplacements mémoire, les échantillons de sortie d'un circuit croisillon se substituant dans la mémoire aux échantillons d'entrée de même rang correspondants.  
10 Cette méthode d'application de l'algorithme est couramment appelée méthode "in place". Cette méthode présente un avantage majeur : si les éléments de la suite  $x(n)$  sont traités à la première étape de transformation dans l'ordre binaire inverse de l'indice  
15  $n$  ("bit-reversed"), les nombres de la suite  $X(n)$  sont délivrés à la dernière étape de transformation dans l'ordre croissant de l'indice  $n$  et vice versa.

Un procédé de transformation connu est présenté à titre  
20 d'exemple à la figure 2. Ce procédé effectue la transformation de Fourier d'une suite réelle  $x(n)$  selon un algorithme complexe avec entrelacement temporel. Dans cet exemple, la suite  $x(n)$  à transformer comporte seize échantillons réels,  $x(0)$  à  $x(15)$ . Le procédé de  
25 transformation comporte quatre étapes de transformation  $E_p$  avec  $0 \leq p \leq 3$ . Les échantillons de la suite  $x(n)$  sont présentés à la première étape de transformation dans l'ordre binaire inverse de leur indice  $n$  ("bit-reversed").

30

A ce stade des explications, il convient de définir les termes employés dans la suite de la description. Le rang d'un échantillon s'entend de la position occupée

par celui-ci dans la suite des échantillons à laquelle il appartient. L'indice d'un échantillon correspond alors au rang de départ de cet échantillon.

5 Les résultats intermédiaires obtenus aux différentes étapes de transformation sont représentés par les suites  $A(n)$ ,  $B(n)$  et  $C(n)$ . Les échantillons des suites  $x(n)$ ,  $A(n)$ ,  $B(n)$ ,  $C(n)$  et  $X(n)$  sont stockés dans des doubles emplacements mémoire, un emplacement mémoire  
10 étant réservé pour la partie réelle de l'échantillon et l'autre emplacement étant réservé pour sa partie imaginaire.  $A_R(n)$  et  $A_I(n)$  désignent respectivement la partie réelle et la partie imaginaire de l'échantillon d'indice  $n$  de la suite  $A(n)$ . Les circuits croisillons  
15 sont représentés sur la figure par des points de croisement entre des colonnes d'emplacements mémoire. A chaque circuit croisillon est affecté un coefficient  $w^S$  symbolisé sur la figure 2 par un couple de coordonnées  $A/B$  où  $A$  et  $B$  désignent respectivement la partie réelle  
20 et la partie imaginaire du coefficient  $w^S$ . Les coordonnées  $1/0$  et  $0/-1$  sont attribuées respectivement aux coefficients  $w^0=1$  et  $w^{N/4}=w^4=-j$ . Par souci de clarté et pour simplifier leur formulation, les autres coefficients  $w^S$  ont été représentés par les couples  
25 suivants:

$$\begin{array}{ll} w^1 \rightarrow 2 / -4 & w^5 \rightarrow -4 / -2 \\ w^2 \rightarrow 3 / -3 & w^6 \rightarrow -3 / -3 \\ w^3 \rightarrow 4 / -2 & w^7 \rightarrow -2 / -4 \end{array}$$

30 Ces couples de coordonnées sont représentés graphiquement à la figure 3. Les coordonnées  $A$  et  $B$  représentent en réalité respectivement une valeur de cosinus et une valeur de sinus. Ce coefficient  $w^S$

intervient dans le calcul effectué par le circuit croisillon. Par ailleurs, les circuits croisillons sont répartis à chaque étape de transformation dans  $N/2^{P+1}$  blocs de calcul, chaque bloc de calcul comportant  $2^P$  circuits croisillons. Dans la suite de la description, le paramètre  $q$  désigne le rang des blocs de calcul dans une même étape de transformation;  $q$  est compris entre 0 et  $(N/2^{P+1})-1$ .

10 A la première étape de transformation  $E_0$ , les circuits croisillons sont répartis en huit blocs de calcul comprenant chacun un circuit croisillon effectuant une opération sur deux échantillons complexes ou réels. Si on désigne par  $e_1$  et  $e_2$  les échantillons appliqués sur  
15 les entrées d'un circuit croisillon, ce dernier délivre en sortie des échantillons  $s_1$  et  $s_2$  définis de la manière suivante :

$$s_1 = e_1 + W^S \cdot e_2 \text{ et } s_2 = e_1 - (W^S \cdot e_2)$$

où  $W^S$  est le coefficient affecté audit croisillon.

20 Pour cette première étape de transformation, le coefficient  $W^0=1$  est affecté aux huit circuits croisillons. Etant donné que les échantillons  $x(n)$  et le coefficient  $W^0$  sont réels, les échantillons  $A(n)$   
25 obtenus en fin d'étape  $E_0$  sont réels.

Pour la seconde étape de transformation,  $E_1$ , les circuits croisillons sont répartis en quatre blocs de calcul comprenant chacun deux circuits croisillons. Le  
30 coefficient  $W^0=1$  est affecté au premier de ces circuits croisillons; ainsi, le premier circuit croisillon de chaque bloc de calcul délivre deux échantillons réels. Le deuxième circuit croisillon des blocs de calcul est



associé au coefficient  $w^{N/4}=w^4=-j$  et génère deux échantillons complexes conjugués. Les échantillons de sortie obtenus en fin d'étape  $E_1$  sont désignés par la suite  $B(n)$ .

5

Pour la troisième étape de transformation,  $E_2$ , les circuits croisillons sont répartis dans deux blocs de calcul comprenant chacun quatre circuits croisillons associés respectivement aux coefficients  $w^0, w^2, w^4$  et  $w^6$ . Les échantillons de sortie à l'étape  $E_2$  sont désignés par la suite  $C(n)$ . Enfin, pour la quatrième étape de transformation,  $E_3$ , il est prévu un unique bloc de calcul comportant huit circuits croisillons associés respectivement aux coefficients  $w^0, w^1, w^2, w^3, w^4, w^5, w^6$  et  $w^7$ . Cette étape de transformation génère la suite transformée  $X(n)$ .

Etant donné la relation (1), la suite  $X(n)$  comporte d'une part des échantillons réels,  $X(0)$  et  $X(8)$ , et d'autre part des échantillons complexes,  $X(1)$  à  $X(7)$  et  $X(9)$  à  $X(15)$ , les échantillons  $X(15)$  à  $X(9)$  étant respectivement les conjugués des échantillons  $X(1)$  à  $X(7)$ . La suite  $X(n)$  contient donc des informations redondantes. Les emplacements mémoire dessinés en trait épais sur la figure 2 désignent les emplacements mémoire renfermant les valeurs conjuguées des échantillons complexes contenus dans les emplacements mémoire qui leur sont associés par une flèche. Les suites de résultats intermédiaires  $B(n)$  et  $C(n)$  contiennent également des informations redondantes.

Il est alors possible de supprimer ces informations redondantes afin de réduire de moitié la taille de la

mémoire de stockage des échantillons ainsi que le nombre des circuits croisillons.

5 Cependant, une suppression des informations redondantes stockées dans les emplacements mémoire dessinés en trait gras sur la figure 2 implique de réorganiser totalement les étapes de transformation de la figure 2. Cette réorganisation de la transformation a pour effet de modifier l'ordre de sortie des échantillons  $X(n)$ .

10

Le problème est donc de réduire la taille de la mémoire de stockage et le nombre des circuits croisillons tout en conservant l'ordre de sortie des échantillons  $X(n)$ . L'invention a pour but de proposer un procédé de calcul  
15 de la transformée de Fourier rapide ou de transformée de Fourier rapide inverse d'une suite de  $N$  échantillons réels  $x(n)$ , avec  $N$  puissance de 2, fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement temporel, qui délivre la suite des échantillons  $X(n)$  dans l'ordre croissant  
20 de l'indice  $n$  et utilise des moyens de calcul et de stockage réduits.

Dans ce but, l'invention a pour objet un procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la  
25 transformée de Fourier rapide inverse d'un signal numérique défini par une suite de  $N$  échantillons réels de départ  $x(n)$ , avec  $N$  puissance de deux et  $n \in [0..N-1]$ , comportant des étapes successives de transformation pour transformer des échantillons  
30 d'entrée en échantillons de sortie, l'ensemble des étapes de transformation étant effectué au moyen d'un unique jeu de circuits croisillons à plusieurs entrées et plusieurs sorties dont le mode opératoire est changé

sélectivement à chaque étape de transformation, les échantillons d'entrée et de sortie de chaque étape de transformation étant stockés dans une mémoire de stockage, une suite de N échantillons de sortie  $y(n)$  représentatifs de la transformée de Fourier rapide ou rapide inverse des échantillons de départ  $x(n)$  étant

caractérisé en ce que les échantillons de sortie  $y(n)$  sont réels,

et en ce que les échantillons de sortie d'un circuit croissillon se substituent dans la mémoire de stockage aux échantillons d'entrée de même rang correspondants, de telle sorte que, si les échantillons de départ  $x(n)$  traités à la première étape de transformation sont classés dans l'ordre binaire inverse de leur indice  $n$ , les échantillons de sortie  $y(n)$  sont délivrés à la dernière étape de transformation dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ , lesquels échantillons de sortie sont définis par les relations suivantes:

$$y(0) = \text{Re}[X(0)]$$

$$y(n) = \text{Re}[X((n+1)/2)] \quad \text{pour } n \text{ impair et différent de } N-1$$

$$y(n) = \text{Im}[X(n/2)] \quad \text{pour } n \text{ pair et différent de } 0$$

$$y(N-1) = \text{Re}[X(N/2)]$$

où les échantillons  $X(n)$ , avec  $n \in [0..N-1]$ , désignent les échantillons complexes de la suite correspondant à la transformée de Fourier rapide ou rapide inverse de la suite des échantillons de départ  $x(n)$ .

Pour les procédés fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement fréquentiel, l'invention concerne

également un procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse d'un signal numérique défini par une suite de N échantillons complexes  $X(n)$  conjugués deux à deux  
5 représentés par une suite de N échantillons réels de départ  $y(n)$ , avec N puissance de deux et  $n \in [0..N-1]$ , les échantillons de départ  $y(n)$  étant définis de la manière suivante :

$$\begin{aligned} y(0) &= \operatorname{Re}[X(0)] \\ 10 \quad y(n) &= \operatorname{Re}[X((n+1)/2)] && \text{pour } n \text{ impair et} \\ &&& \text{différent de } N-1 \\ y(n) &= \operatorname{Im}[X(n/2)] && \text{pour } n \text{ pair et différent} \\ &&& \text{de } 0 \end{aligned}$$

$y(N-1) = \operatorname{Re}[X(N/2)]$   
15 lequel procédé de calcul comporte des étapes successives de transformation pour transformer des échantillons d'entrée en échantillons de sortie, une suite de N échantillons de sortie  $x(n)$  représentatifs de cette transformée de Fourier rapide ou rapide  
20 inverse étant délivrée à la dernière étape de transformation, l'ensemble des étapes de transformation étant effectué au moyen d'un unique jeu de circuits croisillons à plusieurs entrées et plusieurs sorties dont le mode opératoire est changé sélectivement à  
25 chaque étape de transformation, les échantillons d'entrée et de sortie de chaque étape de transformation étant stockés dans une mémoire de stockage,

caractérisé en ce que les échantillons de sortie  $x(n)$  sont réels,

30 et en ce que les échantillons de sortie d'un circuit croisillon se substituent dans la mémoire de stockage aux échantillons d'entrée de même rang correspondants, de telle sorte que, si les échantillons

de départ  $y(n)$  traités à la première étape de transformation sont classés dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ , les échantillons de sortie  $x(n)$  sont délivrés à la dernière étape de transformation dans  
5 l'ordre binaire inverse de l'indice  $n$ .

Les procédés de calcul de l'invention exécutent des opérations sur des échantillons réels et utilisent en conséquence des moyens de calcul et de stockage réduits  
10 par rapport au procédé présenté à la figure 2.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les circuits croisillons transforment, à chaque étape de transformation, des couples d'échantillons d'entrée,  
15 les rangs des échantillons d'entrée d'un même couple dans la suite des échantillons d'entrée de ladite étape de transformation étant symétriques par rapport à un milieu entre les valeurs de rang extrêmes des échantillons d'entrée transformés par ledit circuit  
20 croisillon. Les échantillons d'entrée traités par un même circuit croisillon sont ainsi reliés deux à deux par une symétrie. Il en résulte une gestion simplifiée de l'adressage des échantillons.

25 Selon un autre aspect de l'invention, le procédé comporte de préférence  $\mu-1$  étapes de transformation  $E_p$  avec  $\mu = \log_2(N)$  et  $p \in [0.. \mu-2]$ .

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention  
30 apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- les figures 1A et 1B, déjà décrites, représentent respectivement une transformation de fourier de huit nombres réels selon un algorithme avec entrelacement temporel et selon un algorithme avec entrelacement fréquentiel;

- la figure 2, déjà décrite, illustre la transformation d'une suite de 16 nombres réels en une suite de 16 nombres complexes selon un algorithme complexe avec entrelacement temporel;

- la figure 3, déjà décrite, représente graphiquement la correspondance entre les coefficients  $W^S$  et des couples de coordonnées A/B;

- la figure 4 représente des modifications appliquées sur une partie de la transformation de la figure 2;

- la figure 5 illustre une transformation modifiée traitant uniquement des nombres réels;

- la figure 6 est une représentation du procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide selon l'invention;

- les figures 7A et 7B illustrent respectivement des permutations effectuées sur les circuits croisillons de bord et sur les circuits croisillons internes de rang impair de la transformation de la figure 5;

- la figure 8 représente un mode de réalisation du procédé de transformation selon l'invention, comportant  $\mu$  étapes de transformation;

- la figure 9 illustre un regroupement de circuits croisillons de bord selon un premier mode de réalisation d'un procédé de transformation comprenant  $\mu-1$  étapes de transformation;

- la figure 10 représente un premier mode de réalisation d'un procédé de transformation comprenant  $\mu-1$  étapes de transformation;

5       - la figure 11 représente un modèle de circuit croisillon se rapportant au procédé de transformation illustré figure 10;

- la figure 12 représente une variante du mode de réalisation de la figure 10;

10       - la figure 13 représente un modèle de circuit croisillon se rapportant au mode de réalisation de la figure 12;

15       - la figure 14 illustre un regroupement de circuits croisillons de bord selon un deuxième mode de réalisation d'un procédé de transformation comprenant  $\mu-1$  étapes de transformation;

- la figure 15 représente un deuxième mode de réalisation d'un procédé de transformation comprenant  $\mu-1$  étapes de transformation avec  $\mu$  pair;

20       - la figure 16 représente une variante du mode de réalisation précédent avec  $\mu$  impair;

- la figure 17 représente un modèle de circuit croisillon se rapportant aux modes de réalisation présentés aux figures 15 et 16;

25       - la figure 18 représente un troisième mode de réalisation d'un procédé de transformation comprenant  $\mu-1$  étapes de transformation;

- la figure 19 représente un modèle de circuit croisillon se rapportant au mode de réalisation de la figure 18;

30       - la figure 20 représente les adresses qui sont associées aux différents circuits croisillons mis en oeuvre dans le mode de réalisation présenté à la figure 12;

- la figure 21 représente les adresses qui sont associées à une partie des échantillons d'un procédé de transformation traitant une suite de 32 échantillons réels;

5       - la figure 22 représente un exemple de mode de réalisation d'un procédé de transformation fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement fréquentiel;

      - la figure 23 représente un modèle de circuit croisillon se rapportant au mode de réalisation de la  
10       figure 22;

      - la figure 24 représente les adresses qui sont associées aux différents circuits croisillons du mode de réalisation illustré à la figure 22.

15       Selon l'invention, on ne calcule qu'une partie des échantillons  $X(n)$ , l'autre partie des échantillons étant redondante. On pourrait par exemple se limiter au calcul des nombres  $X(n)$  pour  $0 \leq n \leq N/2$ . Cependant, une solution plus adaptée consiste à calculer les nombres  
20        $X(n)$  pour  $0 \leq n \leq N/4$  et  $N/2 \leq n \leq 3N/4$ . Cette dernière solution est préférable car elle ne fait intervenir que les  $(N/4)+1$  premiers circuits croisillons pour le calcul des  $X(n)$ , les  $(N/4)-1$  derniers circuits croisillons pouvant alors être supprimés. Les  
25       emplacements mémoire ainsi libérés peuvent être utilisés pour mémoriser la partie réelle ou la partie imaginaire des nombres  $X(n)$  restants. La taille de la mémoire de stockage peut ainsi être divisée par deux si on limite la taille des emplacements mémoire au  
30       stockage d'un nombre réel au lieu d'un nombre complexe. La partie réelle du nombre complexe  $X(n)$  est stockée dans l'emplacement mémoire qui lui a été initialement affecté tandis que sa partie imaginaire est stockée



dans l'emplacement mémoire affecté initialement au nombre  $X(N-n)$ . La même opération peut être effectuée pour les suites de résultats intermédiaires  $B(n)$  et  $C(n)$ . Le procédé de transformation de l'invention se  
5 limite à calculer  $N$  échantillons réels  $y(n)$  au lieu de  $N$  échantillons complexes. Les échantillons réels  $y(n)$  sont définis de la manière suivante:

$$\begin{aligned} y(0) &= \operatorname{Re}[X(0)] \\ y(n) &= \operatorname{Re}[X((n+1)/2)] && \text{pour } n \text{ impair et} \\ &&& \text{différent de } N-1 \\ y(n) &= \operatorname{Im}[X(n/2)] && \text{pour } n \text{ pair et différent} \\ &&& \text{de } 0 \\ y(N-1) &= \operatorname{Re}[X(N/2)]. \end{aligned}$$

10

15 La suppression des informations redondantes et la réorganisation des emplacements mémoire modifient fortement le schéma de la figure 2. La figure 4 illustre les réorganisations effectuées sur la partie se rapportant au calcul des échantillons  $A(1)$ ,  $A(3)$ ,  
20  $A(5)$ ,  $A(7)$ ,  $B(1)$ ,  $B(3)$ ,  $B(5)$ ,  $B(7)$ ,  $C(1)$ ,  $C(3)$ ,  $C(5)$  et  $C(7)$ . Les échantillons redondants à supprimer sont  $B(3)$ ,  $B(7)$ ,  $C(5)$  et  $C(7)$ . Après réduction de la taille des emplacements mémoire et réarrangement des échantillons restants dans ces emplacements mémoire,  
25 les circuits croisillons effectuent des calculs sur des nombres réels. Les circuits croisillons auxquels est affecté le couple 0/-1 effectuent des calculs sur deux nombres réels. En pratique, ils recopient sur leur première sortie le nombre présent sur leur première  
30 entrée et multiplient par -1 le nombre présent sur leur seconde entrée et le délivrent sur leur seconde sortie. Les circuits croisillons auxquels est affecté le couple 1/0 effectuent une addition et une soustraction sur

deux nombres réels. Enfin, les autres circuits croisillons effectuent des opérations sur quatre nombres réels.

- 5 La transformation ainsi réarrangée est illustrée à la figure 5. Sur cette figure, les circuits croisillons associés aux couples 1/0 et 0/-1 correspondant aux coefficients  $w^0$  et  $w^4$  sont connectés aux emplacements mémoire par des traits épais. Cette figure montre que
- 10 la réorganisation des étapes du procédé de transformation modifient l'ordre de sortie des échantillons  $y(n)$  et donc l'ordre de sortie de la suite  $X(n)$ . Par ailleurs, ce procédé de transformation ne présente plus de symétrie particulière permettant de
- 15 relier deux à deux les échantillons traités par un même circuit croisillon. Il en résulte une gestion très compliquée de l'adressage des échantillons à appliquer sur les entrées des circuits croisillons.
- 20 La figure 6 présente les étapes d'un procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse d'une suite de  $N$  nombres réels  $x(n)$ , avec  $N$  puissance de 2, fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement temporel. Il
- 25 comporte essentiellement des étapes de transformation 2 visant à transformer les  $N$  échantillons de départ  $x(n)$  classés dans l'ordre binaire inverse de leur indice  $n$  en échantillons de sortie  $y(n)$  réels représentatifs de cette transformée de Fourier classés dans l'ordre
- 30 croissant de l'indice  $n$ .

Avantageusement, il comporte une étape préliminaire 1 pour ranger les  $N$  échantillons réels de départ  $x(n)$  à transformer dans l'ordre binaire inverse


de leur indice  $n$  si les échantillons  $x(n)$  ne sont pas déjà dans cet ordre et une étape finale 3 pour générer les  $N$  échantillons complexes  $X(n)$  correspondant à la transformée de Fourier rapide des échantillons de départ  $x(n)$  à partir des  $N$  échantillons réels  $y(n)$  obtenus à l'issue des étapes de transformation.

Les procédés qui seront détaillés dans la suite de la description, seront plus particulièrement destinés à calculer la transformée de Fourier rapide d'une suite réelle. Aussi, les coefficients  $w^s$  affectés aux circuits croisillons pour la mise en oeuvre du procédé de l'invention seront du type  $e^{-j(2\pi s/N)}$  avec  $s \geq 0$ . Pour le calcul de la transformée de Fourier rapide inverse, le procédé de calcul est identique, cependant le coefficient est du type  $e^{j(2\pi s/N)}$  avec  $s \geq 0$ .

Pour obtenir simultanément des échantillons  $y(n)$  ordonnés dans l'ordre croissant de l'indice  $n$  et une symétrie de calcul, on propose selon l'invention de modifier les opérations de calcul effectuées par les circuits croisillons des blocs de calcul de rang  $q$  impair de la transformation illustrée figure 5 conformément aux schémas des figures 7A et 7B.

S'agissant des circuits croisillons associés au coefficient 1/0 (figure 7A) des blocs de calcul de rang impair, on prévoit de permuter les deux sorties du circuit croisillon et de multiplier par -1 le résultat délivré sur la deuxième sortie du circuit croisillon.

S'agissant des circuits croisillons à quatre entrées (figure 7B), on prévoit de permuter les deux premières sorties avec les deux dernières.

5 On applique cette méthode à l'ensemble de la transformation et on obtient alors un procédé de transformation délivrant en sortie des échantillons  $y(n)$  dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ . Ce procédé est illustré à la figure 8. Le symbole  placé au-  
10 dessus des blocs de calcul, désigne les blocs de calcul dans lesquels ont été modifiés les circuits croisillons, c'est-à-dire les blocs de calcul de rang impair. Etant donné la symétrie de calcul du procédé de transformation, les points de croisement représentant  
15 les circuits croisillons se superposent à l'intérieur de chaque bloc de calcul.

Les circuits croisillons auxquels est affecté le coefficient  $1/0$ , sont appelés croisillons de bord car  
20 ils effectuent des calculs sur les échantillons disposés aux extrémités du bloc de calcul. Les autres circuits croisillons sont appelés circuits croisillons internes. Il convient de noter, qu'à chaque étape de transformation, on ne traite pas toujours la totalité  
25 des échantillons et que les échantillons non traités sont conservés dans leurs emplacements mémoire pour être traités à des étapes suivantes, ou bien produits en sortie s'ils sont déjà dans leur forme finale.

30 Le procédé de transformation ainsi modifié délivrent des échantillons  $y(n)$  dans l'ordre croissant de l'indice  $n$  et présente à chaque étape de transformation

une symétrie de calcul facilitant l'adressage des échantillons à traiter.

Selon un autre aspect de l'invention, le procédé de calcul comporte avantageusement  $\mu-1$  étapes de transformation. Plusieurs modes de réalisation dérivés de celui de la figure 8 et comprenant  $\mu-1$  étapes de transformation sont donc présentés dans la suite de la description. Un modèle de circuit croisillon est associé à chacun de ces modes de réalisation.

Tous ces modes de réalisation ont en commun les caractéristiques suivantes :

- à chaque étape de transformation, il est prévu  $N/2^{P+2}$  blocs de calcul et chaque bloc de calcul comporte un circuit croisillon de bord et/ou  $2^P-1$  circuits croisillons internes; tous les circuits croisillons, qu'ils soient de bord ou internes, effectuent des opérations de calcul sur quatre échantillons réels;

- les rangs des échantillons traités par un même circuit croisillon sont définis de la manière suivante: si on considère, à l'étape de transformation  $E_\beta$ , un circuit croisillon de bord appartenant au bloc de calcul de rang  $\alpha$ , il transforme les échantillons d'entrée de rang  $2^{\beta+2}\alpha$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+1}-1$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+1}$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+2}-1$  en des échantillons de sortie de même rang et, si on considère un circuit croisillon interne de rang  $r$  dans le bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape  $E_\beta$ , il transforme les échantillons d'entrée de rang  $2^{\beta+2}\alpha+2r+1$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2r+2$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+2}-2r-3$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+2}-2r-2$  en des échantillons de sortie de même rang, avec  $\beta \geq 1$ ;

- le coefficient affecté au circuit croisillon interne de rang  $\tau$  du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape  $E_\beta$  est égal à  $w^\delta$  avec  $\delta = (\tau+1) \cdot (N/2^{\beta+2})$ .
- 5 Dans tous ces modes de réalisation, les échantillons d'entrée de chaque circuit croisillon forment des couples d'échantillons, les rangs des échantillons d'un même couple dans la suite des échantillons d'entrée d'une étape de transformation étant symétriques par
- 10 rapport à la valeur milieu des rangs extrêmes des échantillons d'entrée transformés par ledit circuit croisillon. Ce milieu correspond à la valeur  $2^{\beta+2}\alpha + 2^{\beta+1} - 1/2$ . Il suffit donc de connaître le rang de deux des quatre échantillons à appliquer sur les
- 15 entrées du circuit croisillon pour en déduire le rang des deux autres. L'adressage de ces échantillons s'en trouve donc simplifié. Il sera détaillé plus loin dans la description.
- 20 Ainsi, selon un premier mode de réalisation, les blocs de calcul voisins à chaque étape de transformation sont regroupés deux par deux. Les circuits croisillons de bord d'un même bloc de calcul sont alors fusionnés en un circuit croisillon de bord unique. Un exemple de
- 25 fusion de deux circuits croisillons de bord est présenté à la figure 9. Cet exemple concerne les circuits croisillons de bord associés aux échantillons  $x(0)$ ,  $x(8)$ ,  $x(4)$  et  $x(12)$ .
- 30 Par ailleurs, les étapes de transformation ne traitant pas à chaque fois la totalité des échantillons, certaines opérations de calcul peuvent être anticipées. Par exemple, le calcul des échantillons  $C_R(1)$ ,  $C_I(1)$ ,

$C_R(3)$  et  $C_I(3)$  peut être effectué à la deuxième étape de transformation. Il en résulte le schéma de la figure 10 présentant un premier mode de réalisation du circuit de transformation dans laquelle le procédé ne comporte

5 que  $\mu-1$  étapes de transformation. A l'étape de transformation  $E_p$ , chaque bloc de calcul comporte un circuit croisillon de bord et  $2^p-1$  circuits croisillons internes. On peut considérer que ce procédé comporte uniquement 3 étapes de transformation, la quatrième

10 étape se limitant à effectuer une addition et une soustraction. Cette addition et cette soustraction sont de préférence effectuées lors de l'étape finale, et cela afin de limiter le nombre des étapes de transformation.

15

Un modèle de circuit croisillon associé au mode de réalisation de la figure 10 est représenté à la figure 11. Il comporte:

- quatre entrées pour recevoir des échantillons d'entrée  $e_1, e_2, e_3, e_4$  et quatre sorties pour délivrer des échantillons de sortie  $s_1, s_2, s_3, s_4$ , et

20

- trois entrées supplémentaires respectivement de mode primaire MP, de permutation PERM et de coefficient COEF.

25

Ce circuit croisillon est chargé d'appliquer sélectivement sur les échantillons d'entrée  $e_1, e_2, e_3$  et  $e_4$ , des opérations de transformation différentes déterminées chacune par les valeurs attribuées à des

30 signaux de mode primaire, de permutation et au coefficient  $W^S$  admis sur les entrées supplémentaires correspondantes.

Le signal de mode primaire vaut 0 s'il s'agit d'un circuit croisillon de bord et 1 s'il s'agit d'un circuit croisillon interne. Lorsque le signal de permutation est un 1, les échantillons de sortie s1 et s2 du circuit croisillon sont permutés avec les échantillons de sortie s3 et s4. Cette permutation n'est possible que lorsque le circuit croisillon est un circuit croisillon interne. Enfin, le coefficient  $w^S$  associé au circuit croisillon est appliqué sur l'entrée de coefficient COEF.

Ainsi, si le coefficient complexe  $w^S = A + j.B$  est appliqué sur l'entrée de coefficient du circuit croisillon, ce dernier délivre les échantillons de sortie s1, s2, s3 et s4 suivants

(1) si le signal de mode primaire est à 0:

$$s1 = e1 + e2$$

$$s2 = e1 - e2$$

$$s3 = e4 - e3$$

$$s4 = e3 + e4$$

(2) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:

$$s1 = e1 + A.e3 - B.e4$$

$$s2 = e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 - A.e3 + B.e4$$

$$s4 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

(3) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = e1 - A.e3 + B.e4$$

$$s2 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 + A.e3 - B.e4$$

$$s4 = e2 + B.e3 + A.e4$$

Selon un mode de réalisation en variante, on peut prévoir d'effectuer l'addition et la soustraction dans



le circuit croisillon de bord de la dernière étape de transformation. Cet mode de réalisation est présenté à la figure 12. A cet effet, le modèle de circuit croisillon correspondant comporte une quatrième entrée supplémentaire appelée entrée de mode secondaire MS sur laquelle est appliqué un signal de mode secondaire. Ce signal est à 1 quand il s'agit du circuit croisillon de bord de la dernière étape de transformation, sinon il est à 0. Ce modèle est illustré figure 13. Ce modèle possède un mode de fonctionnement supplémentaire par rapport au modèle précédent; ainsi lorsque le signal de mode primaire est à 0 et que le signal de mode secondaire est à 1, on obtient en sortie:

$$\begin{aligned} s1 &= e1 + e2 + e3 + e4 \\ s2 &= e1 - e2 \\ s3 &= e4 - e3 \\ s4 &= (e1 + e2) - (e3 + e4) \end{aligned}$$

Selon un deuxième mode de réalisation dérivé du schéma de la figure 8, les circuits croisillons de bord voisins aux étapes de transformation  $E_p$  d'indice  $p$  pair sont regroupés deux par deux et sont fusionnés avec le circuit croisillon de bord de l'étape suivante d'indice impair pour former un nouveau circuit croisillon de bord au niveau de l'étape d'indice impair. Ce regroupement est illustré à la figure 14 au travers d'un exemple. Dans cet exemple, les circuits croisillons de bord de la première étape de transformation traitant les échantillons  $x(0)$ ,  $x(8)$ ,  $x(4)$  et  $x(12)$  sont fusionnés avec le circuit croisillon de bord de la deuxième étape traitant les échantillons  $A_R(0)$  et  $A_R(2)$ . De même, les circuits croisillons de bord de la première étape de transformation traitant

les échantillons  $x(2)$ ,  $x(10)$ ,  $x(6)$  et  $x(14)$  sont fusionnés avec le circuit croisillon de bord de la deuxième étape traitant les échantillons  $A_R(4)$  et  $A_R(6)$ . Les deux circuits croisillons obtenus se différencient en ce que le deuxième effectue en plus une permutation entre la première et la dernière sortie. Si on applique ce regroupement à l'ensemble de la transformation illustrée figure 8, il en résulte que l'étape  $E_0$  n'utilise plus de circuits croisillons et peut être supprimée. Le procédé de transformation résultant est illustré à la figure 15.

Il convient cependant de distinguer deux cas pour ce procédé de transformation : le cas où  $N$  est une puissance paire de deux ( $\mu$  pair) et le cas où  $N$  est une puissance impaire de deux ( $\mu$  impair).

Dans le cas où  $\mu$  est pair, il y a un nombre pair d'étapes de transformation dans le mode de réalisation présenté à la figure 8 et le regroupement des circuits croisillons de bord des étapes d'indice pair avec ceux des étapes suivantes d'indice impair ne pose pas de problème. Ce cas correspond au schéma de la figure 15.

Dans le cas où  $\mu$  est impair, le circuit croisillon de bord de la dernière étape d'indice pair ne peut être regroupé avec d'autres circuits croisillons de bord. Il convient alors de prévoir un mode de fonctionnement particulier pour ce cas. Ce cas est illustré figure 16, laquelle figure représente la transformation d'une suite de huit échantillons réels ( $\mu=3$ ). Le circuit croisillon de bord de la dernière étape de

transformation de ce circuit n'a pu être fusionné avec d'autres circuits croisillons de bord.

5 Le modèle de circuit croisillon associé à ce deuxième mode de réalisation est illustré figure 17; il se différencie du modèle précédent en ce que le signal de mode secondaire est à 1 lorsqu'il s'agit d'un circuit croisillon de bord destiné à mettre en oeuvre la dernière étape et que  $\mu$  est impair, et en ce que la  
10 permutation s'applique à l'ensemble des circuits croisillons des blocs de calcul de rang pair.

Les opérations de calcul réalisées par le circuit croisillon sont également différentes et sont définies  
15 de la manière suivante :

(1) si les signaux de mode primaire, de mode secondaire et de permutation sont à 0:

$$s1 = e1 + e2 + e3 + e4$$

$$s2 = e1 - e2$$

20  $s3 = e4 - e3$

$$s4 = (e1 + e2) - (e3 + e4)$$

(2) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de mode secondaire est à 1:

$$s1 = e1 + e4$$

25  $s2 = e2$

$$s3 = e3$$

$$s4 = e1 - e4$$

(3) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = (e3 + e4) - (e1 + e2)$$

30  $s2 = e1 - e2$

$$s3 = e4 - e3$$

$$s4 = e1 + e2 + e3 + e4$$

(4) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:

$$s1 = e1 + A.e3 - B.e4$$

$$s2 = e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 - A.e3 + B.e4$$

5

$$s4 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

(5) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = e1 - A.e3 + B.e4$$

$$s2 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 + A.e3 - B.e4$$

10

$$s4 = e2 + B.e3 + A.e4$$

Pour le cas où  $\mu$  est impair, on peut également prévoir d'une part, de regrouper les circuits croisillons de bord pour la mise en oeuvre de la première étape de transformation de la même façon que dans le premier mode de réalisation et d'autre part, de regrouper les circuits croisillons des autres étapes comme dans le troisième mode de réalisation. Le regroupement des circuits croisillons à partir de la seconde étape est alors effectué en attribuant un indice pair à la première étape de transformation. Ces regroupements sont représentés à la figure 18.

Le modèle de circuit croisillon correspondant à ce mode de réalisation est représenté à la figure 19. Le signal de mode secondaire vaut 1 s'il s'agit d'un circuit croisillon de bord mettant en oeuvre la première étape de transformation du circuit et si  $\mu$  est pair. Les opérations de calcul effectuées par ce circuit croisillon sont les suivantes :

(1) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de mode secondaire est à 1:

$$s1 = e1 + e2$$

$$s2 = e1 - e2$$

$$s3 = e4 - e3$$

$$s4 = e3 + e4$$

5 (2) si les signaux de mode primaire, de mode secondaire et de permutation sont à 0:

$$s1 = e1 + e2 + e3 + e4$$

$$s2 = e1 - e2$$

$$s3 = e4 - e3$$

$$s4 = (e1 + e2) - (e3 + e4)$$

10 (3) si les signaux de mode primaire et de mode secondaire sont à 0 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = (e3 + e4) - (e1 + e2)$$

$$s2 = e1 - e2$$

$$s3 = e4 - e3$$

15  $s4 = e1 + e2 + e3 + e4$

(4) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:

$$s1 = e1 + A.e3 - B.e4$$

$$s2 = e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 - A.e3 + B.e4$$

20  $s4 = -e2 + B.e3 + A.e4$

(5) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = e1 - A.e3 + B.e4$$

$$s2 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 + A.e3 - B.e4$$

25  $s4 = e2 + B.e3 + A.e4$

Dans tous les modes de réalisation décrits précédemment, les rangs des échantillons traités par un même circuit croisillon sont symétriques deux à deux par rapport à une valeur milieu. Il suffit donc de  
30 connaître le rang des deux premiers échantillons d'entrée du circuit croisillon pour en déduire les deux autres par symétrie. Si les échantillons d'entrée et de

sortie sont sauvegardés dans des emplacements mémoire dont l'adresse correspond au rang de ces échantillons, l'adressage de ces derniers s'en trouve simplifié.

5      En effet, il suffit alors de générer deux adresses par circuit croisillon, les deux autres pouvant être déduites par symétrie. Par ailleurs, il convient de noter que les adresses des échantillons d'entrée et celles des échantillons de sortie correspondants sont  
10      les mêmes car la transformation est appliquée selon une méthode "in place".

Les adresses associées aux différents circuits croisillons se rapportant au procédé de transformation de la figure 12 sont présentés à la figure 20.  
15      L'adresse d'un échantillon est prise égale au rang de cet échantillon dans la suite des échantillons à laquelle il appartient. La suite à transformer dans l'exemple de la figure 12 comporte 16 échantillons. Il  
20      est donc nécessaire de produire 16 adresses, l'adressage se faisant sur quatre bits. Pour une suite de N échantillons, l'adressage se fait sur  $\log_2(N)$  bits.

25      Chaque étape de transformation du procédé de la figure 12 est mise en oeuvre par quatre circuits croisillons traitant chacun quatre échantillons réels d'entrée. Les adresses binaires des échantillons à traiter à chaque étape sont donc réparties en quatre groupes de quatre  
30      adresses. Les groupes d'adresses se rapportant à un circuit croisillon de bord sont contenus dans des rectangles en trait gras et les groupes d'adresses se rapportant à un circuit croisillon interne sont

contenus dans des rectangles en trait fin. Par ailleurs, les groupes d'adresses se rapportant à un même bloc de calcul sont regroupés dans des rectangles en pointillés.

5

Le premier circuit croisillon de bord à l'étape  $E_0$  traite les quatre premiers échantillons de la suite  $x(n)$  issue de l'étape préliminaire de classement. Les adresses correspondantes à générer pour ce circuit  
10 croisillon sont donc 0000, 0001, 0010 et 0011. De même si on considère le premier circuit croisillon de bord de l'étape  $E_1$ , il traite les échantillons de rang 0, 3, 4 et 7 de la suite  $A(n)$ . Les adresses correspondantes à générer pour ce circuit croisillon sont donc 0000,  
15 0011, 0100 et 0111.

Les  $(\mu-2-p)$  bits de poids fort des adresses indiquent le rang  $q$  du bloc de calcul auquel se rapporte l'adresse. Ainsi, les deux bits de poids fort des  
20 adresses générées pour le premier bloc de calcul de l'étape  $E_0$  sont 00. Il faut noter également que, étant donné que la dernière étape n'utilise qu'un seul bloc de calcul, les adresses générées pour ce bloc de calcul ne comporte pas de bit se rapportant au rang de ce bloc  
25  $(\mu-p-2=0)$ .

Pour chaque circuit croisillon, on prévoit de générer uniquement deux adresses binaires; les deux autres sont obtenus en inversant les  $(p+2)$  bits de poids faible des  
30 adresses générées. Si on considère par exemple les adresses du premier circuit croisillon de bord à l'étape  $E_1$ , on ne génère que les adresses 0000 et 0011

et on obtient les adresses 0111 et 0100 en inversant les 3 bits de poids faible des adresses générées.

5 Une première et une seconde adresse par circuit  
croisillon sont alors produites, lesquelles adresses  
sont consécutives lorsqu'il s'agit d'un circuit  
croisillon interne. Lorsqu'il s'agit d'un circuit  
croisillon de bord, les  $p+2$  bits de poids faible de la  
première adresse sont égaux à 0, et les  $p+2$  bits de  
10 poids faible de la seconde adresse forment un nombre  
égal à  $2^{p+1}-1$ .

En ce qui concerne les coefficients  $w^s$  à appliquer sur  
les entrées de coefficient COEF des circuits  
15 croisillons internes, ils sont stockés dans une mémoire  
du circuit de calcul. Seules  $N/4$  valeurs de  
coefficients sont nécessaires au calcul de la  
transformée de Fourier. L'adressage de ces coefficients  
s'effectue sur  $\mu-2$  bits. Dans les modes de réalisation  
20 décrits précédemment où  $N=16$ , on utilise uniquement les  
couples 1/0, 2/-4, 3/-3 et 4/-2 correspondant aux  
coefficients  $w^0, w^1, w^2, w^3$ .

Selon l'invention, il est donc nécessaire de connaître  
25 l'adresse de ces quatre coefficients. L'adresse  
associée à chaque coefficient  $w^s$  est choisie égale à la  
valeur de la puissance  $s$ . Par conséquent, les adresses  
des coefficients  $w^0, w^1, w^2, w^3$  sont respectivement 00,  
01, 10, 11.

30

Afin de ne pas avoir à générer ces adresses, on utilise  
selon l'invention les adresses produites pour adresser  
les échantillons. L'adresse du coefficient qui est



affecté à un circuit croisillon est comprise dans la seconde adresse produite correspondant à la plus élevée des deux adresses.

5      Cependant, il convient de distinguer trois cas:

(a)    lorsque  $p+1=\mu-2$ , l'adresse du coefficient correspond au nombre formé par les  $p+1$  bits de poids faible de la seconde adresse générée pour ce circuit croisillon interne. C'est le cas pour la deuxième étape  
10    ( $p=1$ ) dans l'exemple de la figure 20. Les 2 bits de poids faible de la seconde adresse sont 10 et désignent donc le coefficient  $w^2$ .

(b)    si  $p+1>\mu-2$ , l'adresse du coefficient correspond au nombre formé par les  $p+1$  bits de poids faible de la  
15    seconde adresse générée pour ce circuit croisillon interne, ôté de ses  $\mu-p-1$  bits de poids faible. C'est le cas pour la troisième étape ( $p=2$ ) dans l'exemple de la figure 20. Les 3 bits de poids faible de la seconde  
20    adresse générée pour le premier circuit croisillon interne sont 010. Lorsqu'on ôte le dernier bit ( $\mu-p-1=1$ ) de ce nombre, on obtient le nombre 01 se rapportant au coefficient  $w^1$ . Ce cas correspond toujours à la dernière étape d'un procédé de transformation comportant  $\mu-1$  étapes de transformation.

(c)    si  $p+1<\mu-2$ , l'adresse du coefficient correspond au nombre formé par les  $p+1$  bits de poids faible de la  
25    seconde adresse générée pour ce circuit croisillon interne, suivis de  $\mu-p-3$  bits à zéro en fin de nombre. Ce cas est illustré figure 21. Cette figure représente  
30    les adresses se rapportant à un circuit croisillon interne pour la mise en oeuvre de la deuxième étape de transformation ( $p=1$ ) d'un procédé de transformation destiné à traiter une suite de 32 échantillons réels

( $N=32$  et  $\mu=5$ ). Ce circuit croisillon transforme les échantillons de rang 1, 2, 5 et 6 de la suite des échantillons obtenue en fin de première étape. Les deux bits de poids faibles de la seconde adresse générée  
5 sont 10 et si on y rajoute un zéro ( $\mu-p-3=1$ ) en fin de nombre, on obtient le nombre 100 désignant le coefficient  $w^4$ .

Ainsi, les deux adresses produites par le générateur  
10 d'adresses pour un circuit croisillon servent à adresser à la fois les quatre échantillons à traiter et le coefficient se rapportant au circuit croisillon.

De préférence, les échantillons d'adresse paire et  
15 d'adresse impaire seront stockés dans deux mémoires distinctes. Ainsi, deux échantillons d'entrée pourront être lus simultanément et les échantillons de sortie résultants pourront être écrits simultanément, ce qui représente un gain au niveau du temps de traitement de  
20 la suite à transformer.

Comme mentionné précédemment, à chaque procédé de calcul fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement temporel correspond un procédé  
25 fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement fréquentiel. Pour l'obtenir, il suffit d'une part d'inverser la suite des opérations de transformation du procédé avec entrelacement temporel correspondant, et d'autre part, pour chaque circuit croisillon,  
30 d'inverser les opérations de transformation en elles-mêmes par rapport à celle du procédé correspondant.

Aussi, l'invention concerne également un procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse d'une suite de N échantillons complexes  $X(n)$  conjugués deux à deux, avec  
5 N puissance de 2, fonctionnant selon un algorithme avec entrelacement fréquentiel. La suite des N échantillons complexes  $X(n)$  est représentée par une suite de N échantillons réels  $y(n)$  définie de la manière suivante:

$$\begin{aligned} y(0) &= \operatorname{Re}[X(0)] \\ 10 \quad y(n) &= \operatorname{Re}[X((n+1)/2)] && \text{pour } n \text{ impair et} \\ &&& \text{différent de } N-1 \\ y(n) &= \operatorname{Im}[X(n/2)] && \text{pour } n \text{ pair et différent} \\ &&& \text{de } 0 \\ y(N-1) &= \operatorname{Re}[X(N/2)] \end{aligned}$$

15 Selon l'invention, ce procédé comporte essentiellement des étapes de transformation pour transformer des échantillons d'entrée en échantillons de sortie. Les échantillons réels  $y(n)$  sont traités à une première  
20 étape de transformation et la dernière étape délivre une suite de N échantillons de sortie  $x(n)$  représentatifs de la transformée de Fourier rapide ou rapide inverse de la suite des échantillons  $X(n)$ . Comme pour les circuits avec entrelacement temporel, chaque  
25 étape de transformation est mise en oeuvre par un jeu de circuits croisillons à plusieurs entrées et à plusieurs sorties. La transformation étant effectuée selon une méthode "in place", l'ensemble des étapes est effectué au moyen d'un unique jeu de circuits  
30 croisillons dont le mode opératoire est modifié à chaque étape de transformation. Les échantillons d'entrée et de sortie sont mémorisés à chaque étape de transformation dans une mémoire de stockage. Après

transformation, les échantillons de sortie d'un même circuit croisillon se substituent dans la mémoire de stockage aux échantillons d'entrée de même rang correspondants.

5

Selon l'invention, si les échantillons  $y(n)$  présentés à la première étape de transformation sont classés dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ , les échantillons de sortie  $x(n)$  sont délivrés à la dernière étape de transformation dans l'ordre binaire inverse de l'indice  $n$ . L'ordre de sortie des échantillons  $x(n)$  peut ensuite être modifié par une étape finale de manière à les classer dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ .

15 Un mode de réalisation d'une telle transformation est représenté à la figure 22. Il se déduit du mode de réalisation de la figure 12 en inversant l'agencement fonctionnel des étapes de transformation de la figure 12 (image en miroir de ce qu'il est pour un entrelacement temporel). Ce mode de réalisation permet de calculer la transformée de Fourier rapide inverse d'une suite de 16 échantillons réels  $y(n)$  représentatifs d'une suite de 16 échantillons complexes  $X(n)$  conjugués deux à deux. Les coefficients  $W^S$  sont  
20 par conséquent du type  $e^{j(2\pi s/N)}$ .

Ce mode de réalisation comprend trois étapes de transformation  $E_p$  avec  $0 \leq p \leq 2$ . A chaque étape de transformation  $E_p$ , les circuits croisillons sont  
30 désormais répartis en  $2^p$  blocs de calcul, ces blocs de calcul étant ordonnés à chaque étape selon un rang  $q$  croissant allant de 0 à  $2^p - 1$ . Chaque bloc de calcul comporte un circuit croisillon de bord et  $N/2^{p+2} - 1$

circuits croisillons internes. Les échantillons  $y(n)$  sont appliqués dans l'ordre de l'indice  $n$  à la première étape.

- 5 Les rangs des échantillons traités par un même circuit croisillon sont définis de la manière suivante: si on considère à l'étape  $E_\beta$  un circuit croisillon de bord appartenant au bloc de calcul de rang  $\alpha$ , il transforme les échantillons d'entrée de rang  $2^{\mu-\beta}\alpha$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-1$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-1$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-1$  en des échantillons de sortie de même rang et, si on considère à l'étape  $E_\beta$  un circuit croisillon interne de rang  $\tau$  dans le bloc de calcul de rang  $\alpha$ , il transforme les échantillons d'entrée de rang  $2^{\mu-\beta}\alpha+2\tau+1$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2\tau+2$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-2\tau-3$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-2\tau-2$  en des échantillons de sortie de même rang. Enfin, le coefficient affecté au circuit croisillon interne de rang  $\tau$  du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape  $E_\beta$  est égal à  $W^\delta$  avec  $\delta = (\tau+1).2^\beta$ .
- 10
- 15
- 20 Les échantillons réels  $x(n)$  obtenus en fin de procédé sont délivrés dans l'ordre binaire inverse de l'indice  $n$ .

- 25 Au niveau des circuits croisillons, les coefficients  $W^S$  sont du type  $e^{j(2\pi s/N)}$  et, les entrées et les sorties ont été interverties par rapport au mode de réalisation de la figure 12. En conséquence, les opérations effectuées par les circuits croisillons de ce mode de réalisation sont différentes de celles effectuées par les circuits croisillons de la figure 12. Un modèle de circuit croisillon associé au mode de réalisation de la figure 22 est représenté à la figure 23.
- 30

Tout comme le modèle associé à la figure 12, il comporte quatre entrées et quatre sorties de données ainsi que quatre entrées supplémentaires respectivement de mode primaire MP, de mode secondaire MS, de permutation PERM et de coefficient COEF. Le signal de mode primaire vaut 0 s'il s'agit d'un circuit croisillon de bord et 1 s'il s'agit d'un circuit croisillon interne. Le signal de permutation vaut 0 pour les valeurs paires du rang q et 1 pour les valeurs impaires. Enfin, le signal de mode secondaire vaut 1 si le circuit croisillon de bord est utilisé pour la mise en oeuvre de la première étape et 0 sinon.

Les opérations de calcul effectuées par ce circuit croisillon sont les suivantes ( $W^S = A + j.B$ ):

(1) si les signaux de mode primaire et de mode secondaire sont à 0:

$$s1 = (e1 + e2)/2$$

$$s2 = (e1 - e2)/2$$

$$s3 = (e4 - e3)/2$$

$$s4 = (e3 + e4)/2$$

(2) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de mode secondaire est à 1:

$$s1 = [(e1+e4)/2+e2]/2$$

$$s2 = [(e1+e4)/2-e2]/2$$

$$s3 = -[e3-(e1-e4)/2]/2$$

$$s4 = [e3+(e1-e4)/2]/2$$

(3) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:

$$s1 = (e1+e3)/2$$

$$s2 = (e2-e4)/2$$

$$s3 = [(e1-e3).A - (e2+e4).B]/2$$

$$s4 = [-(e1-e3).B + (e2+e4).A]/2$$

(4) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = [(e1-e3).A - (e2+e4).B]/2$$

$$s2 = [-(e1-e3).B + (e2+e4).A]/2$$

$$s3 = (e1 + e3) / 2$$

$$s4 = (e2 - e4) / 2$$

5 Ce modèle est déduit du modèle de la figure 13 en intervertissant les valeurs  $e1$ ,  $e2$ ,  $e3$ ,  $e4$  et les valeurs  $s1$ ,  $s2$ ,  $s3$ ,  $s4$ , et en remplaçant  $B$  par  $-B$  car le coefficient  $W^S$  est à présent du type  $e^{j(2\pi s/N)}$ . Etant donné que  $A$  et  $B$  représentent le cosinus et le sinus d'un même nombre, on a en fait  $A^2 + B^2 = 1$ . Les  
10 expressions de  $s1$ ,  $s2$ ,  $s3$ ,  $s4$  s'en trouvent simplifiées.

Selon l'invention, des adresses sont par ailleurs générées pour l'adressage des échantillons. Il est  
15 prévu de générer deux adresses binaires de  $\mu$  bits par circuit croisillon, chaque adresse binaire correspondant au rang d'un échantillon d'entrée du circuit croisillon. Les adresses des deux autres échantillons à appliquer sur les entrées du circuit  
20 croisillon sont obtenus en inversant les  $\mu - p$  bits de poids faible des deux premières adresses.

De la même façon que pour les procédés de transformation fonctionnant selon un entrelacement  
25 temporel, les deux adresses binaires produites sont consécutives s'il s'agit d'un circuit croisillon interne. S'il s'agit d'un circuit croisillon de bord, les  $\mu - p$  bits de poids faible de la première adresse générée sont égaux à 0, et les  $\mu - p$  bits de poids faible  
30 de la seconde adresse forment un nombre égal à  $N/2^{p+1} - 1$ . A titre d'illustration, les adresses produites pour le circuit de transformation de la figure 22 sont rassemblées à la figure 24.

Avantageusement, on pourra prévoir de stocker les échantillons d'adresse paire et les échantillons d'adresse impaire dans deux mémoires distinctes afin de  
5 diminuer le temps de traitement de l'opération de transformation.

Enfin, les adresses générées pour adresser les échantillons sont également utilisés pour adresser les  
10 coefficients  $W^S$ . La valeur du paramètre  $s$  est utilisé pour adresser le coefficient  $W^S$  correspondant. Dans cet mode de réalisation, le paramètre  $s$  est égal:

- si  $\mu-p-1=\mu-2$ , au nombre formé par les  $\mu-p-1$  bits de poids faible de la seconde adresse produite pour  
15 ledit circuit croisillon interne,

- si  $\mu-p-1<\mu-2$ , au nombre formé par les  $\mu-p-1$  bits de poids faible de la seconde adresse produite pour ledit circuit croisillon interne, suivi de  $p-1$  bits à zéro en fin de nombre,

20 - si  $\mu-p-1>\mu-2$ , au nombre formé par les  $\mu-p-1$  bits de poids faible de la seconde adresse produite pour ledit circuit croisillon interne, ôté de ses  $p+1$  bits de poids faible. Ce cas correspond à la première étape ( $p=0$ ) des procédés de transformation fonctionnant selon  
25 un algorithme avec entrelacement fréquentiel.



## REVENDICATIONS

1. Procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse  
5 d'un signal numérique défini par une suite de  $N$  échantillons réels de départ  $x(n)$ , avec  $N$  puissance de deux et  $n \in [0..N-1]$ , comportant des étapes successives de transformation (2) pour transformer des échantillons d'entrée en échantillons de sortie, l'ensemble des  
10 étapes de transformation étant effectué au moyen d'un unique jeu de circuits croisillons à plusieurs entrées et plusieurs sorties dont le mode opératoire est changé sélectivement à chaque étape de transformation, les échantillons d'entrée et de sortie de chaque étape de  
15 transformation étant stockés dans une mémoire de stockage, une suite de  $N$  échantillons de sortie  $y(n)$  représentatifs de la transformée de Fourier rapide ou rapide inverse des échantillons de départ  $x(n)$  étant délivrée à la dernière étape de transformation,  
20 caractérisé en ce que les échantillons de sortie  $y(n)$  sont réels,  
et en ce que les échantillons de sortie d'un circuit croisillon se substituent dans la mémoire de stockage aux échantillons d'entrée de même rang  
25 correspondants, de telle sorte que, si les échantillons de départ  $x(n)$  traités à la première étape de transformation sont classés dans l'ordre binaire inverse de leur indice  $n$ , les échantillons de sortie  $y(n)$  sont délivrés à la dernière étape de  
30 transformation dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ , lesquels échantillons de sortie sont définis par les relations suivantes:

$$y(0) = \text{Re}[X(0)]$$

$$y(n) = \text{Re}[X((n+1)/2)] \quad \text{pour } n \text{ impair et} \\ \text{différent de } N-1$$

$$y(n) = \text{Im}[X(n/2)] \quad \text{pour } n \text{ pair et différent} \\ \text{de } 0$$

5

$$y(N-1) = \text{Re}[X(N/2)]$$

où les échantillons  $X(n)$ , avec  $n \in [0..N-1]$ , désignent les échantillons complexes de la suite correspondant à la transformée de Fourier rapide ou rapide inverse de la suite des échantillons de départ  $x(n)$ .

10

2. Procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse d'un signal numérique défini par une suite de  $N$  échantillons complexes  $X(n)$  conjugués deux à deux représentés par une suite de  $N$  échantillons réels de départ  $y(n)$ , avec  $N$  puissance de deux et  $n \in [0..N-1]$ , les échantillons de départ  $y(n)$  étant définis de la manière suivante :

15

20

$$y(0) = \text{Re}[X(0)]$$

$$y(n) = \text{Re}[X((n+1)/2)] \quad \text{pour } n \text{ impair et} \\ \text{différent de } N-1$$

$$y(n) = \text{Im}[X(n/2)] \quad \text{pour } n \text{ pair et différent} \\ \text{de } 0$$

25

$$y(N-1) = \text{Re}[X(N/2)]$$

30

lequel procédé de calcul comporte des étapes successives de transformation pour transformer des échantillons d'entrée en échantillons de sortie, une suite de  $N$  échantillons de sortie  $x(n)$  représentatifs de cette transformée de Fourier rapide ou rapide inverse étant délivrée à la dernière étape de transformation, l'ensemble des étapes de transformation étant effectué au moyen d'un unique jeu de circuits

croisillons à plusieurs entrées et plusieurs sorties dont le mode opératoire est changé sélectivement à chaque étape de transformation, les échantillons d'entrée et de sortie de chaque étape de transformation étant stockés dans une mémoire de stockage, 5 caractérisé en ce que les échantillons de sortie  $x(n)$  sont réels, et en ce que les échantillons de sortie d'un circuit croisillon se substituent dans la mémoire de 10 stockage aux échantillons d'entrée de même rang correspondants, de telle sorte que, si les échantillons de départ  $y(n)$  traités à la première étape de transformation sont classés dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ , les échantillons de sortie  $x(n)$  sont 15 délivrés à la dernière étape de transformation dans l'ordre binaire inverse de l'indice  $n$ .

3. Procédé de calcul selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, à chaque étape de 20 transformation, chaque circuit croisillon transforme des couples d'échantillons d'entrée, les rangs des échantillons d'entrée d'un même couple dans la suite des échantillons d'entrée de ladite étape de transformation étant symétriques par rapport à un 25 milieu entre les valeurs de rang extrêmes des échantillons d'entrée transformés par ledit circuit croisillon.

4. Procédé de calcul selon la revendication 3, 30 caractérisé en ce qu'il comporte  $\mu-1$  étapes de transformation  $E_p$  avec  $\mu = \log_2(N)$  et  $p \in [0.. \mu-2]$ .

5. Procédé de calcul selon la revendication 4 elle-même dépendante de la revendication 3 elle-même dépendante de la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

- 5           - une étape préliminaire pour modifier l'ordre des échantillons de départ  $x(n)$  rangés dans l'ordre croissant de l'indice  $n$  et les présenter dans l'ordre binaire inverse de l'indice  $n$  à la première étape de transformation, et
- 10           - une étape finale pour traiter la suite d'échantillons de sortie  $y(n)$  et délivrer une suite de  $N$  échantillons complexes  $X(n)$  conjugués correspondant à la transformée de Fourier rapide ou rapide inverse de la suite des échantillons de départ  $x(n)$ .

15

6. Procédé de calcul selon la revendication 4 elle-même dépendante de la revendication 3 elle-même dépendante de la revendication 1, ou selon la revendication 5, caractérisé en ce que, à chaque étape de transformation  $E_p$ , les circuits croisillons sont répartis en  $N/2^{p+2}$  blocs de calcul,

20

en ce que chaque bloc de calcul comporte un circuit croisillon de bord et/ou  $2^{p-1}$  circuits croisillons internes,

25

en ce que le circuit croisillon de bord du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape de transformation  $E_\beta$  transforme les échantillons d'entrée de rang  $2^{\beta+2}\alpha$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+1}-1$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+1}$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+2}-1$  en des échantillons de sortie de même rang,

30

et en ce que le circuit croisillon interne de rang  $\tau$  du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape de transformation  $E_\beta$  transforme les échantillons d'entrée de rang  $2^{\beta+2}\alpha+2\tau+1$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2\tau+2$ ,  $2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+2}-2\tau-3$ ,

$2^{\beta+2}\alpha+2^{\beta+2}-2\tau-2$  en des échantillons de sortie de même rang, avec  $\beta \geq 1$ .

5 7. Procédé de calcul selon la revendication 6, caractérisé en ce que, à chaque circuit croisillon est affecté un coefficient  $w^s$ , coefficient sur lequel est basé l'opération de calcul à l'intérieur du circuit croisillon, ledit coefficient étant égal à  $e^{-j(2\pi s/N)}$  avec  $s \in [0..N/4-1]$  dans le cas d'une transformée de Fourier rapide et est égal à  $e^{j(2\pi s/N)}$  avec  $s \in [0..N/4-1]$  dans le cas d'une transformée de Fourier rapide inverse.

15 8. Procédé de calcul selon la revendication 7, caractérisé en ce que, au circuit croisillon interne de rang  $\tau$  du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape de transformation  $E_\beta$  est affecté le coefficient  $w^\delta$  avec  $\delta = (\tau+1).(N/2^{\beta+2})$ .

20 9. Procédé de calcul selon la revendication 8, caractérisé en ce que les circuits croisillons destinés à mettre en oeuvre les étapes de transformation sont tous de même type et comportent

25 - quatre entrées pour recevoir des échantillons d'entrée et quatre sorties pour délivrer des échantillons de sortie,

- quatre entrées supplémentaires respectivement de mode primaire, de mode secondaire, de permutation et de coefficient,

30 afin d'appliquer sélectivement sur les échantillons d'entrée, des opérations de transformation différentes déterminées chacune par les valeurs attribuées à des signaux de mode primaire, de mode

secondaire, de permutation et à un coefficient admis sur lesdites entrées supplémentaires correspondantes.

10. Procédé de calcul selon la revendication 9, caractérisé en ce que, pour chaque circuit croisillon, le signal de mode primaire vaut 0 s'il s'agit d'un circuit croisillon de bord et 1 s'il s'agit d'un circuit croisillon interne,

en ce que le signal de permutation vaut 0 pour les blocs de calcul de rang pair, y compris le rang 0, et 1 pour les autres.

11. Procédé de calcul selon la revendication 10, caractérisé en ce que, à l'étape de transformation  $E_p$ , chaque bloc de calcul comporte un circuit croisillon de bord et  $2^p - 1$  circuits croisillons internes.

12. Procédé de calcul selon la revendication 11, caractérisé en ce que le signal de mode secondaire vaut 1 si le circuit croisillon de bord est utilisé pour la dernière étape de transformation et 0 sinon.

13. Procédé de calcul selon la revendication 12, caractérisé en ce que, pour quatre échantillons d'entrée  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  et  $e_4$  et pour un coefficient complexe  $W^S = A + j.B$ , le circuit croisillon fournit les échantillons de sortie  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  et  $s_4$  suivants

(1) si les signaux de mode primaire et de mode secondaire sont à 0:

$$s_1 = e_1 + e_2$$

$$s_2 = e_1 - e_2$$

$$s_3 = e_4 - e_3$$

$$s_4 = e_3 + e_4$$

(2) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de mode secondaire est à 1:  $s1 = e1 + e2 + e3 + e4$

$$s2 = e1 - e2$$

$$s3 = e4 - e3$$

5

$$s4 = (e1 + e2) - (e3 + e4)$$

(3) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:  $s1 = e1 + A.e3 - B.e4$

$$s2 = e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 - A.e3 + B.e4$$

10

$$s4 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

(4) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:  $s1 = e1 - A.e3 + B.e4$

$$s2 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 + A.e3 - B.e4$$

15

$$s4 = e2 + B.e3 + A.e4$$

14. Procédé de calcul selon la revendication 10, caractérisé en ce que, à l'étape de transformation  $E_p$ , chaque bloc de calcul comporte:

20

-  $2^{P-1}$  circuits croisillons internes et un circuit croisillon de bord pour les valeurs paires de l'indice p ainsi que pour la dernière étape de transformation si  $\mu$  est pair, et

-  $2^{P-1}$  circuits croisillons internes sinon.

25

15. Procédé de calcul selon la revendication 13, caractérisé en ce que, le signal de mode secondaire vaut 1 si le circuit croisillon de bord est utilisé pour la dernière étape de transformation avec  $\mu$  impair et 0 sinon.

30

16. Procédé de calcul selon la revendication 15, caractérisé en ce que, pour quatre échantillons

d'entrée  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  et  $e_4$  et pour un coefficient complexe  $W^S = A + j.B$ , le circuit croisillon fournit les échantillons de sortie  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  et  $s_4$  suivants

- (1) si les signaux de mode primaire, de mode secondaire et de permutation sont à 0:  $s_1 = e_1 + e_2 + e_3 + e_4$   
 $s_2 = e_1 - e_2$   
 $s_3 = e_4 - e_3$   
 $s_4 = (e_1 + e_2) - (e_3 + e_4)$
- (2) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de mode secondaire est à 1:  $s_1 = e_1 + e_4$   
 $s_2 = e_2$   
 $s_3 = e_3$   
 $s_4 = e_1 - e_4$
- (3) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de permutation à 1:  $s_1 = (e_3 + e_4) - (e_1 + e_2)$   
 $s_2 = e_1 - e_2$   
 $s_3 = e_4 - e_3$   
 $s_4 = e_1 + e_2 + e_3 + e_4$
- (4) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:  $s_1 = e_1 + A.e_3 - B.e_4$   
 $s_2 = e_2 + B.e_3 + A.e_4$   
 $s_3 = e_1 - A.e_3 + B.e_4$   
 $s_4 = -e_2 + B.e_3 + A.e_4$
- (5) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:  $s_1 = e_1 - A.e_3 + B.e_4$   
 $s_2 = -e_2 + B.e_3 + A.e_4$   
 $s_3 = e_1 + A.e_3 - B.e_4$   
 $s_4 = e_2 + B.e_3 + A.e_4$

17. Procédé de calcul selon la revendication 10, caractérisé en ce que, à l'étape de transformation  $E_p$ , chaque bloc de calcul comporte:



-  $2^{p-1}$  circuits croisillons internes et un circuit croisillon de bord pour les valeurs paires de l'indice  $p$ , et

-  $2^{p-1}$  circuits croisillons internes sinon.

5

18. Procédé de calcul selon la revendication 17, caractérisé en ce que le signal de mode secondaire vaut 1 si le circuit croisillon de bord est utilisé pour la première étape de transformation avec  $\mu$  pair et 0 sinon.

10

19. Procédé de calcul selon la revendication 18, caractérisé en ce que, pour quatre échantillons d'entrée  $e_1, e_2, e_3$  et  $e_4$  et pour un coefficient complexe  $W^S = A + j.B$ , le circuit croisillon fournit les échantillons de sortie  $s_1, s_2, s_3$  et  $s_4$  suivants

15

(1) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de mode secondaire est à 1:  $s_1 = e_1 + e_2$

$$s_2 = e_1 - e_2$$

20

$$s_3 = e_4 - e_3$$

$$s_4 = e_3 + e_4$$

(2) si les signaux de mode primaire, de mode secondaire et de permutation sont à 0:  $s_1 = e_1 + e_2 + e_3 + e_4$

$$s_2 = e_1 - e_2$$

25

$$s_3 = e_4 - e_3$$

$$s_4 = (e_1 + e_2) - (e_3 + e_4)$$

(3) si les signaux de mode primaire et de mode secondaire sont à 0 et le signal de permutation à 1:

$$s_1 = (e_3 + e_4) - (e_1 + e_2)$$

30

$$s_2 = e_1 - e_2$$

$$s_3 = e_4 - e_3$$

$$s_4 = e_1 + e_2 + e_3 + e_4$$

(4) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:

$$s1 = e1 + A.e3 - B.e4$$

$$s2 = e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 - A.e3 + B.e4$$

5

$$s4 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

(5) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = e1 - A.e3 + B.e4$$

$$s2 = -e2 + B.e3 + A.e4$$

$$s3 = e1 + A.e3 - B.e4$$

10

$$s4 = e2 + B.e3 + A.e4$$

20. Procédé de calcul selon la revendication 8, caractérisé en ce que les circuits croisillons destinés à mettre en oeuvre les étapes de transformation sont tous de même type et comportent

15

- quatre entrées pour recevoir des échantillons d'entrée et quatre sorties pour délivrer des échantillons de sortie,

- trois entrées supplémentaires respectivement de mode primaire, de permutation et de coefficient,

20

afin d'appliquer sélectivement sur les échantillons d'entrée, des opérations de transformation différentes déterminées chacune par les valeurs attribuées à des signaux de mode primaire, de permutation et à un coefficient admis sur lesdites entrées supplémentaires correspondantes,

25

et en ce que l'étape finale effectuée en outre une addition et une soustraction entre le premier et le dernier échantillon de sortie délivrés à la dernière étape de transformation.

30

21. Procédé de calcul selon la revendication 20, caractérisé en ce que, à l'étape de transformation  $E_p$ ,

chaque bloc de calcul comporte un circuit croisillon de bord et  $2^P-1$  circuits croisillons internes.

22. Procédé de calcul selon la revendication 21, caractérisé en ce que, pour quatre échantillons d'entrée  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  et  $e_4$  et pour un coefficient complexe  $W^S=A+j.B$ , le circuit croisillon fournit les échantillons de sortie  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  et  $s_4$  suivants

(1) si le signal de mode primaire est à 0:

$$\begin{aligned} s_1 &= e_1 + e_2 \\ s_2 &= e_1 - e_2 \\ s_3 &= e_4 - e_3 \\ s_4 &= e_3 + e_4 \end{aligned}$$

(2) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:

$$\begin{aligned} s_1 &= e_1 + A.e_3 - B.e_4 \\ s_2 &= e_2 + B.e_3 + A.e_4 \\ s_3 &= e_1 - A.e_3 + B.e_4 \\ s_4 &= -e_2 + B.e_3 + A.e_4 \end{aligned}$$

(3) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:

$$\begin{aligned} s_1 &= e_1 - A.e_3 + B.e_4 \\ s_2 &= -e_2 + B.e_3 + A.e_4 \\ s_3 &= e_1 + A.e_3 - B.e_4 \\ s_4 &= e_2 + B.e_3 + A.e_4 \end{aligned}$$

23. Procédé de calcul selon la revendication 9 ou 20, caractérisé en ce que des première et seconde adresses binaires de  $\mu$  bits sont générées pour chaque circuit croisillon, chaque adresse binaire correspondant au rang d'un échantillon d'entrée dudit circuit croisillon et la seconde adresse binaire étant supérieure à la première adresse binaire.

24. Procédé de calcul selon la revendication 23, caractérisé en ce que lesdites première et seconde adresses binaires sont consécutives s'il s'agit d'un circuit croisillon interne.

5

25. Procédé de calcul selon la revendication 23 ou 24, caractérisé en ce que, s'il s'agit d'un circuit croisillon de bord, les  $p+2$  bits de poids faible de la première adresse sont égaux à 0, et les  $p+2$  bits de poids faible de la seconde adresse forment un nombre égal à  $2^{p+1}-1$ .

10

26. Procédé de calcul selon la revendication 24 ou 25, caractérisé en ce que l'adresse des deux autres échantillons à appliquer sur les entrées du circuit croisillon, qu'il soit de bord ou interne, sont obtenus en inversant les  $(p+2)$  bits de poids faible desdites première et seconde adresses produites.

15

27. Procédé de calcul selon la revendication 26, caractérisé en ce que les échantillons d'adresse paire et les échantillons d'adresse impaire sont stockés dans deux mémoires distinctes.

20

28. Procédé de calcul selon la revendication 25, caractérisé en ce que la valeur du paramètre  $s$  du coefficient  $W^s$  affecté à un circuit croisillon interne à l'étape de transformation  $E_p$  est codé sur  $\mu-2$  bits, et correspond:

25

- si  $p+1=\mu-2$ , au nombre formé par les  $p+1$  bits de poids faible de la seconde adresse binaire produite pour ledit circuit croisillon interne,

30

- si  $p+1 < \mu-2$ , au nombre formé par les  $p+1$  bits de poids faible de la seconde adresse binaire produite pour ledit circuit croisillon interne, suivi de  $\mu-p-3$  bits à zéro en fin de nombre,

5        - si  $p+1 > \mu-2$ , au nombre formé par les  $p+1$  bits de poids faible de la seconde adresse binaire produite pour ledit circuit croisillon interne, ôté de ses  $\mu-p-1$  bits de poids faible.

10       29. Procédé de calcul selon la revendication 4 elle-même dépendante de la revendication 3 elle-même dépendante de la revendication 2, caractérisé en ce que, à chaque étape de transformation  $E_p$ , les circuits croisillons sont répartis en  $2^p$  blocs de calcul,

15        en ce que chaque bloc de calcul comporte un circuit croisillon de bord et  $N/2^{p+2}-1$  circuits croisillons internes,

          en ce que le circuit croisillon de bord du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape de transformation  $E_\beta$   
 20        transforme les échantillons d'entrée de rang  $2^{\mu-\beta}\alpha$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-1$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-1$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-1$  en des échantillons de sortie de même rang,

          et en ce que le circuit croisillon interne de rang  $\tau$  du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape de transformation  $E_\beta$  transforme les échantillons d'entrée  
 25        de rang  $2^{\mu-\beta}\alpha+2\tau+1$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2\tau+2$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-2\tau-3$ ,  $2^{\mu-\beta}\alpha+2^{\mu-\beta}-2\tau-2$  en des échantillons de sortie de même rang.

30       30. Procédé de calcul selon la revendication 29, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une étape finale pour modifier l'ordre des échantillons de sortie

délivrés à la dernière étape de transformation et les classer dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ .

31. Procédé de calcul selon la revendication 29 ou 30, caractérisé en ce que, à chaque circuit croisillon est affecté un coefficient  $w^s$ , coefficient sur lequel est basé l'opération de calcul à l'intérieur du circuit croisillon, ledit coefficient étant égal à  $e^{-j(2\pi s/N)}$  avec  $s \in [0..N/4-1]$  dans le cas d'une transformée de Fourier rapide et est égal à  $e^{j(2\pi s/N)}$  avec  $s \in [0..N/4-1]$  dans le cas d'une transformée de Fourier rapide inverse.

32. Procédé de calcul selon la revendication 31, caractérisé en ce que, au circuit croisillon interne de rang  $\tau$  du bloc de calcul de rang  $\alpha$  à l'étape de transformation  $E_\beta$  est associé le coefficient  $w^\delta$  avec  $\delta = (\tau+1).2^\beta$ .

33. Procédé de calcul selon la revendication 32, caractérisé en ce que les circuits croisillons pour mettre en oeuvre les étapes de transformation sont tous de même type et comportent

- quatre entrées pour recevoir des échantillons d'entrée et quatre sorties pour délivrer des échantillons de sortie,

- quatre entrées supplémentaires respectivement de mode primaire, de mode secondaire, de permutation et de coefficient,

afin d'appliquer sélectivement sur les échantillons d'entrée, des opérations de transformation différentes déterminées chacune par les valeurs attribuées à des signaux de mode primaire, de mode

secondaire, de permutation et à un coefficient admis sur lesdites entrées supplémentaires correspondantes.

34. Procédé de calcul selon la revendication 33, caractérisé en ce que, pour chaque circuit croisillon, le signal de mode primaire vaut 0 s'il s'agit d'un circuit croisillon de bord et 1 s'il s'agit d'un circuit croisillon interne.

et en ce que le signal de permutation vaut 0 pour les blocs de calcul de rang pair, y compris le rang 0, et 1 pour les valeurs impaires.

35. Procédé de calcul selon la revendication 31 ou 34, caractérisé en ce que le signal de mode secondaire vaut 1 si le circuit croisillon, qu'il soit de bord ou interne, est utilisé pour la première étape de transformation et 0 sinon.

36. Procédé de calcul selon la revendication 35, caractérisé en ce que, pour quatre échantillons d'entrée  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  et  $e_4$  et pour un coefficient complexe  $W^S = A + j.B$ , le circuit croisillon fournit les échantillons de sortie  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  et  $s_4$  suivants

(1) si les signaux de mode primaire et de mode secondaire sont à 0:

$$s_1 = (e_1 + e_2)/2$$

$$s_2 = (e_1 - e_2)/2$$

$$s_3 = (e_4 - e_3)/2$$

$$s_4 = (e_3 + e_4)/2$$

(2) si le signal de mode primaire est à 0 et le signal de mode secondaire est à 1:

$$s_1 = [(e_1 + e_4)/2 + e_2]/2$$

$$s_2 = [(e_1 + e_4)/2 - e_2]/2$$

$$s_3 = -[e_3 - (e_1 - e_4)/2]/2$$

$$s_4 = [e_3 + (e_1 - e_4)/2]/2$$

(3) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 0:

$$s1 = (e1 + e3) / 2$$

$$s2 = (e2 - e4) / 2$$

$$s3 = [(e1 - e3) \cdot A - (e2 + e4) \cdot B] / 2$$

5

$$s4 = [-(e1 - e3) \cdot B + (e2 + e4) \cdot A] / 2$$

(4) si le signal de mode primaire est à 1 et le signal de permutation à 1:

$$s1 = [(e1 - e3) \cdot A - (e2 + e4) \cdot B] / 2$$

$$s2 = [-(e1 - e3) \cdot B + (e2 + e4) \cdot A] / 2$$

$$s3 = (e1 + e3) / 2$$

10

$$s4 = (e2 - e4) / 2$$

37. Procédé de calcul selon la revendication 33, caractérisé en ce que des première et seconde adresses binaires de  $\mu$  bits sont générées pour chaque circuit croisillon, chaque adresse binaire correspondant au rang d'un échantillon d'entrée dudit circuit croisillon et la seconde adresse binaire étant supérieure à la première adresse binaire.

20 38. Procédé de calcul selon la revendication 37, caractérisé en ce que lesdites première et seconde adresses binaires sont consécutives s'il s'agit d'un circuit croisillon interne.

25 39. Procédé de calcul selon la revendication 37 ou 38, caractérisé en ce que, s'il s'agit d'un circuit croisillon de bord, les  $\mu - p$  bits de poids faible de la première adresse sont égaux à 0, et les  $\mu - p$  bits de poids faible de la seconde adresse forment un nombre  
30 égal à  $N/2^{p+1} - 1$ .

40. Procédé de calcul selon la revendication 38 ou 39, caractérisé en ce que l'adresse des deux autres



échantillons à appliquer sur les entrées du circuit croisillon sont obtenus en inversant les  $\mu-p$  bits de poids faible des deux adresses produites.

- 5     41. Procédé de calcul selon la revendication 40, caractérisé en ce que les échantillons d'adresse paire et les échantillons d'adresse impaire sont stockés dans deux mémoires distinctes.
- 10    42. Procédé de calcul selon la revendication 41, caractérisé en ce que la valeur du paramètre  $s$  du coefficient  $w^s$  affecté à un circuit croisillon interne à l'étape de transformation  $E_p$  est codé sur  $\mu-2$  bits, et correspond:
- 15        - si  $\mu-p-1=\mu-2$ , au nombre formé par les  $\mu-p-1$  bits de poids faible de la seconde adresse produite pour ledit circuit croisillon interne,
- si  $\mu-p-1<\mu-2$ , au nombre formé par les  $\mu-p-1$  bits de poids faible de la seconde adresse produite pour
- 20    ledit circuit croisillon interne, suivi de  $p-1$  bits à zéro en fin de nombre,
- si  $\mu-p-1>\mu-2$ , au nombre formé par les  $\mu-p-1$  bits de poids faible de la seconde adresse produite pour
- 25    ledit circuit croisillon interne, ôté de ses  $p+1$  bits de poids faible.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

1/17

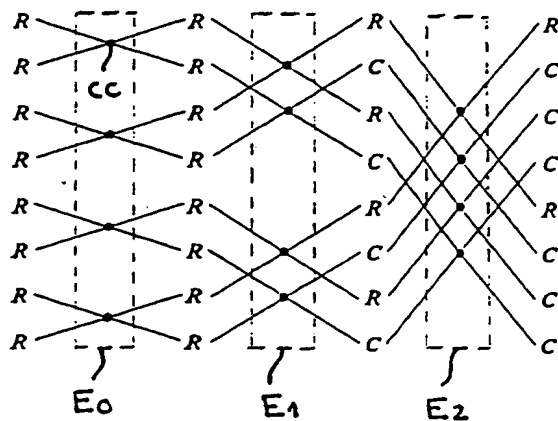


FIG. 1A

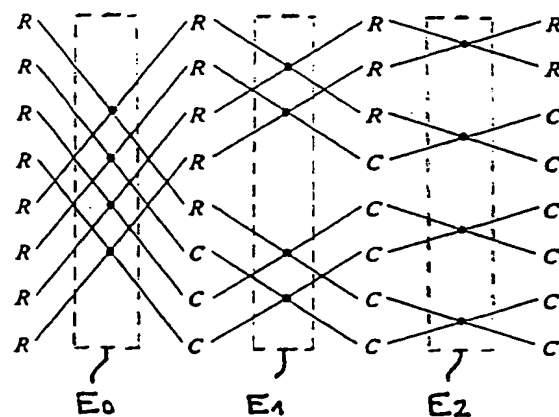


FIG. 1B

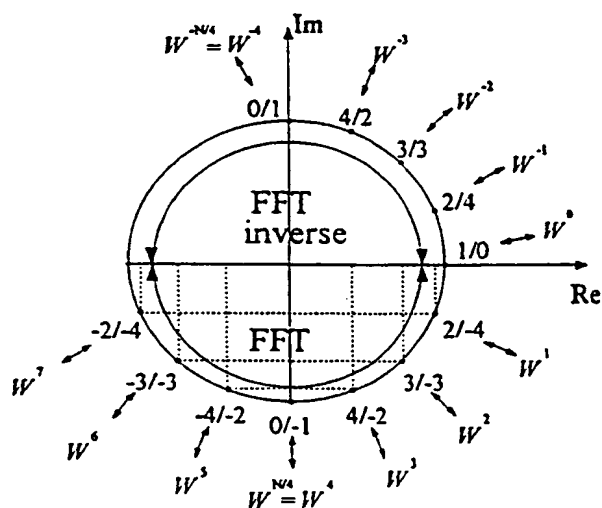
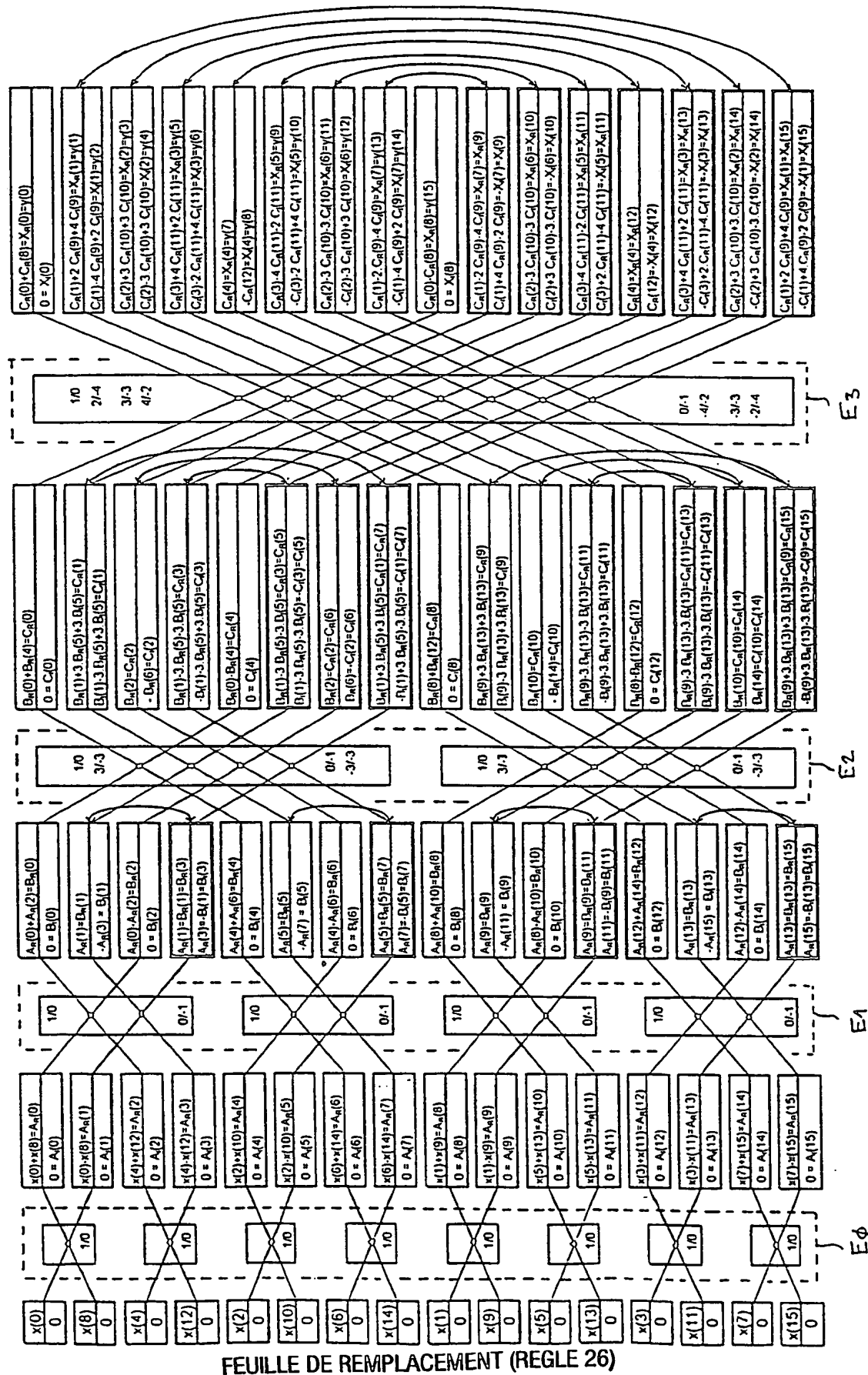


FIG. 3

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

2/17



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

3/17

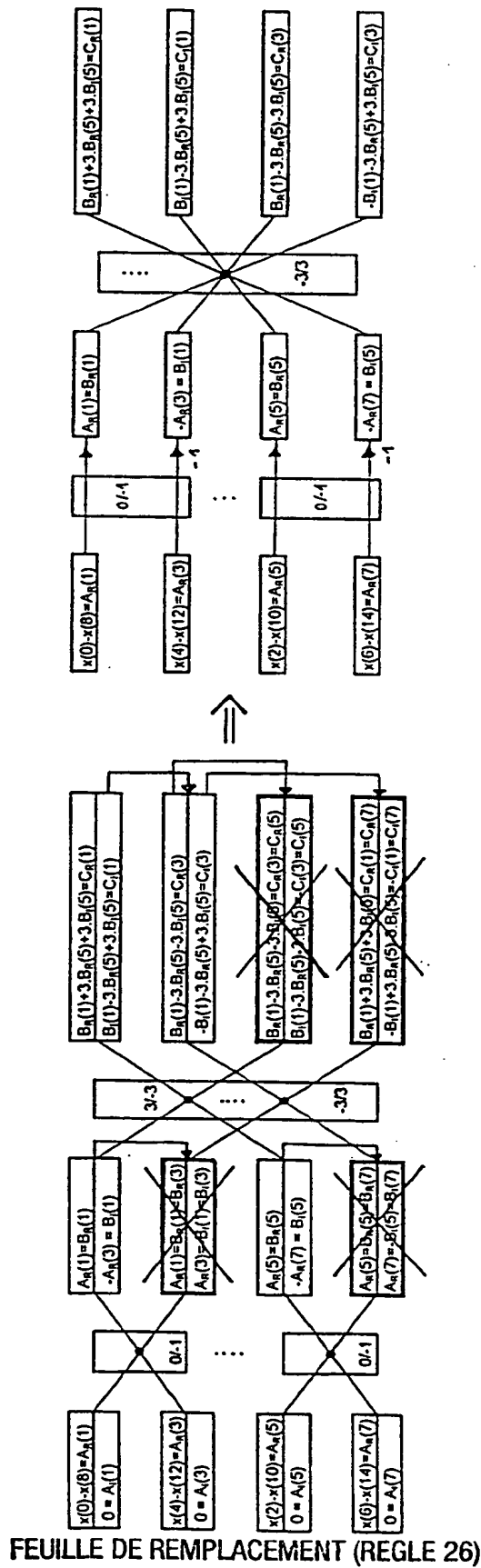


FIG. 4

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



4/17

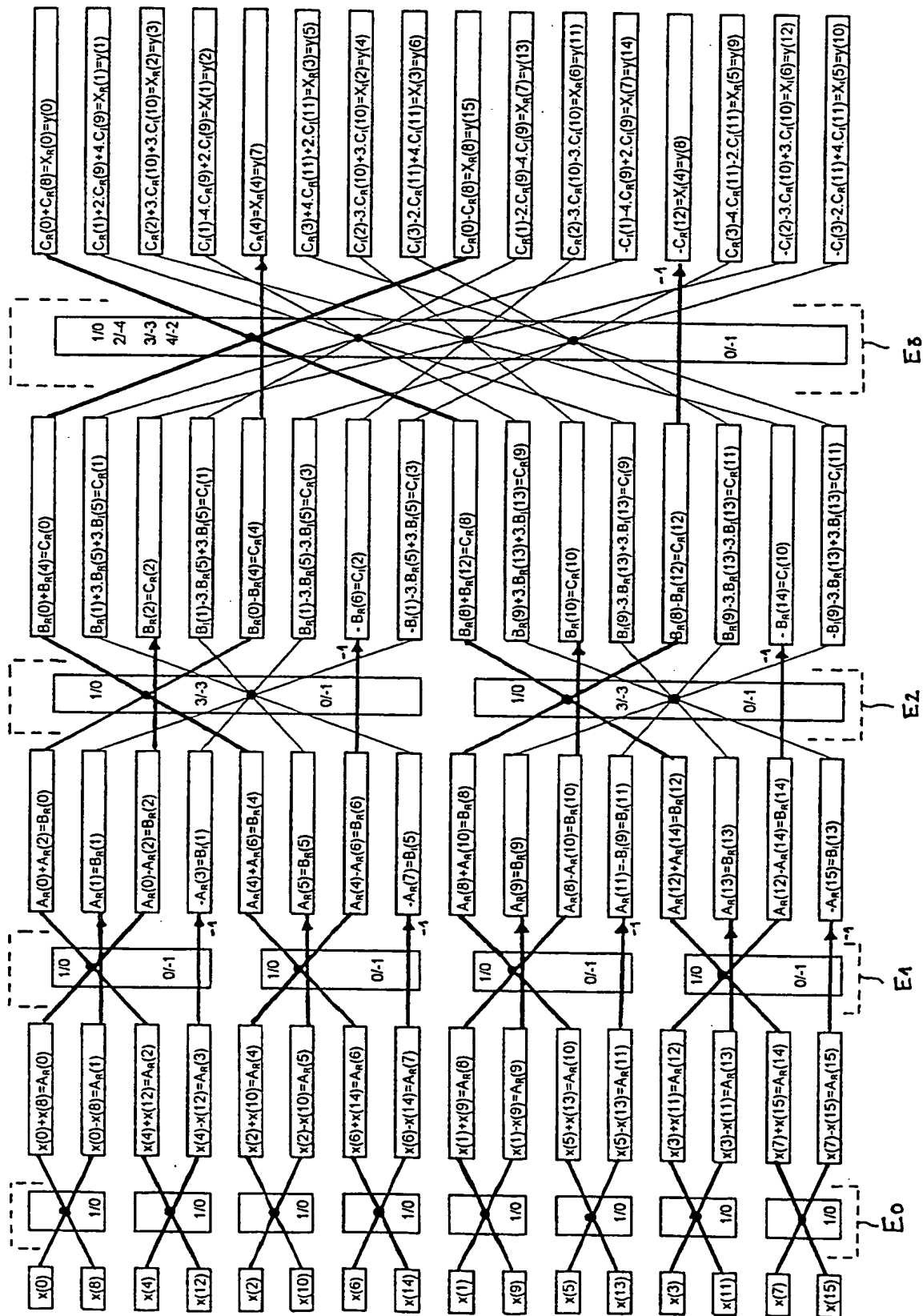


FIG. 5

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

5/17

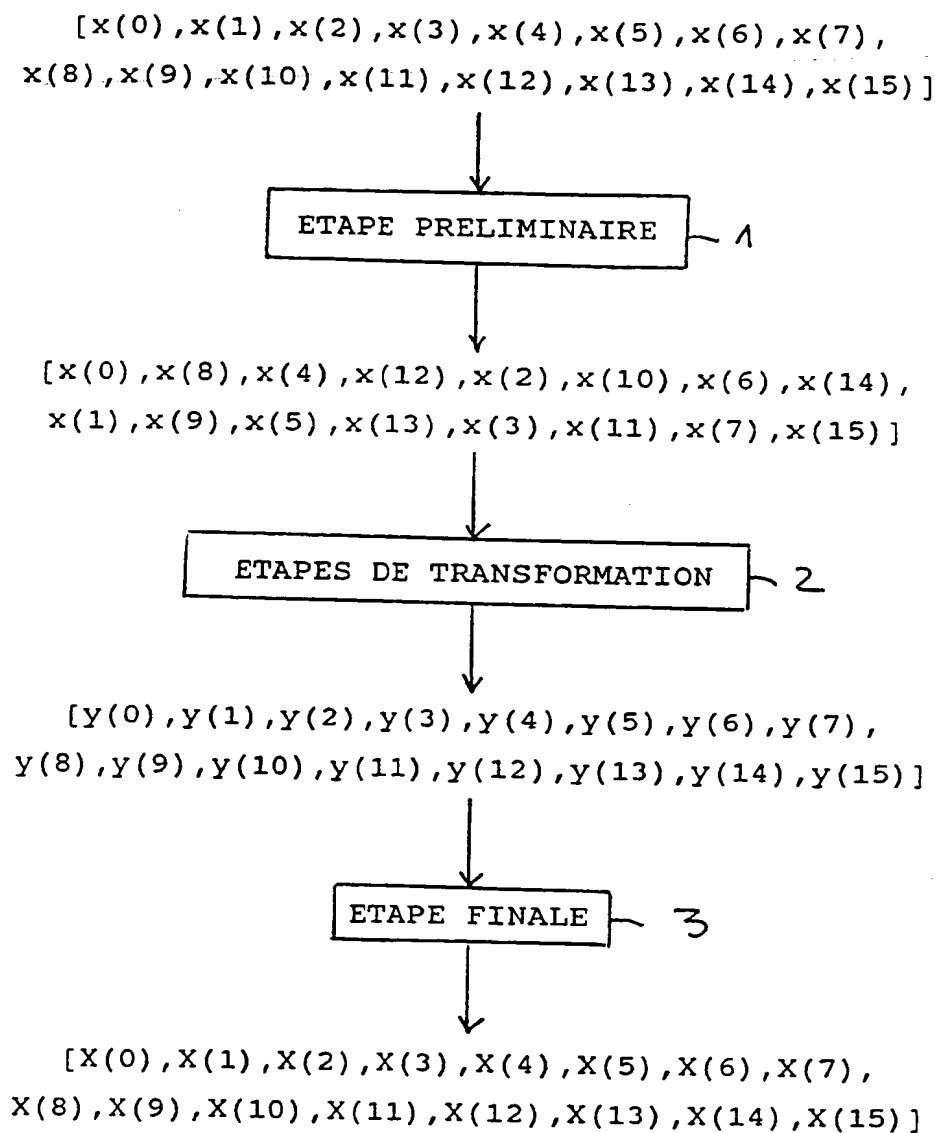


FIG. 6

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

6 / 17

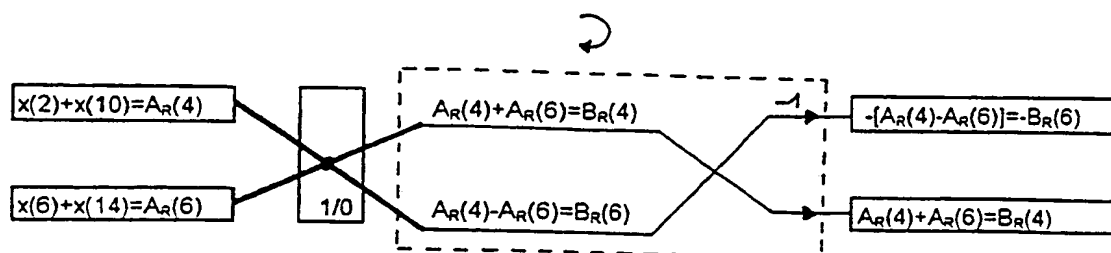


FIG. 7A

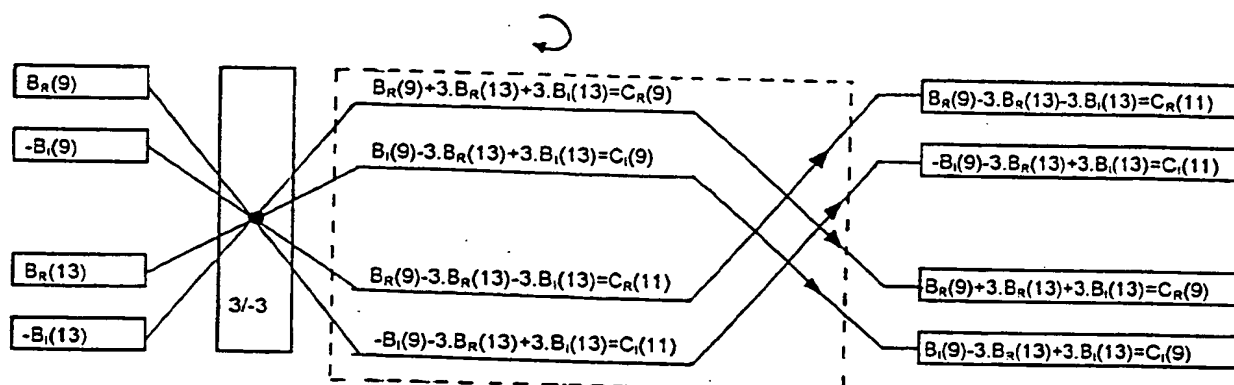


FIG. 7B

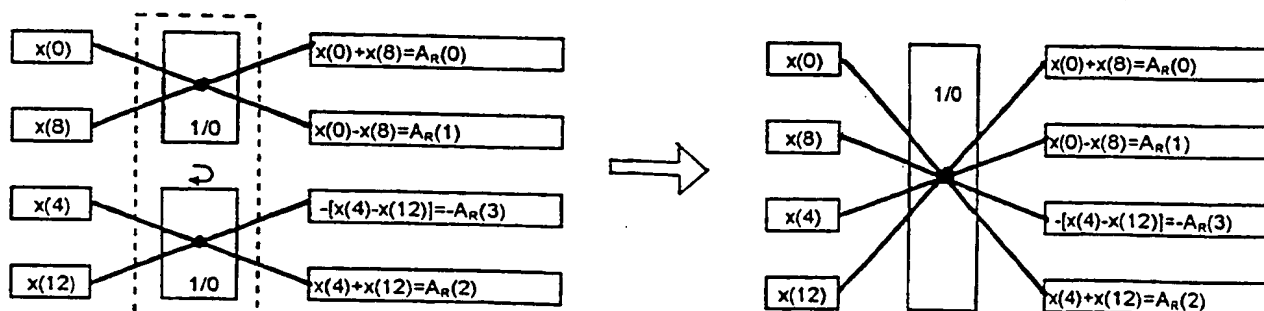
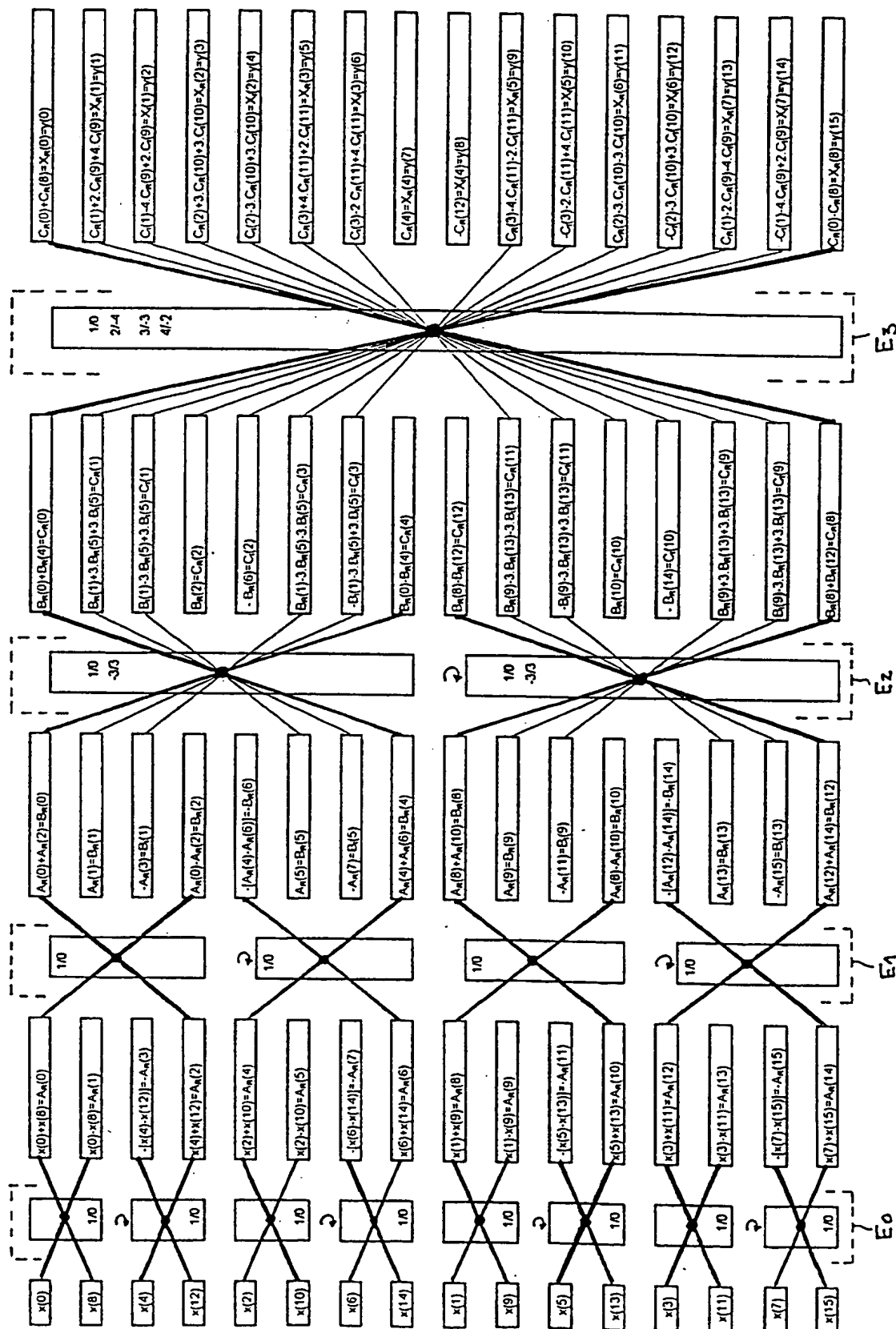


FIG. 9

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

7/17



FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

FIG. 8

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



8 / 17

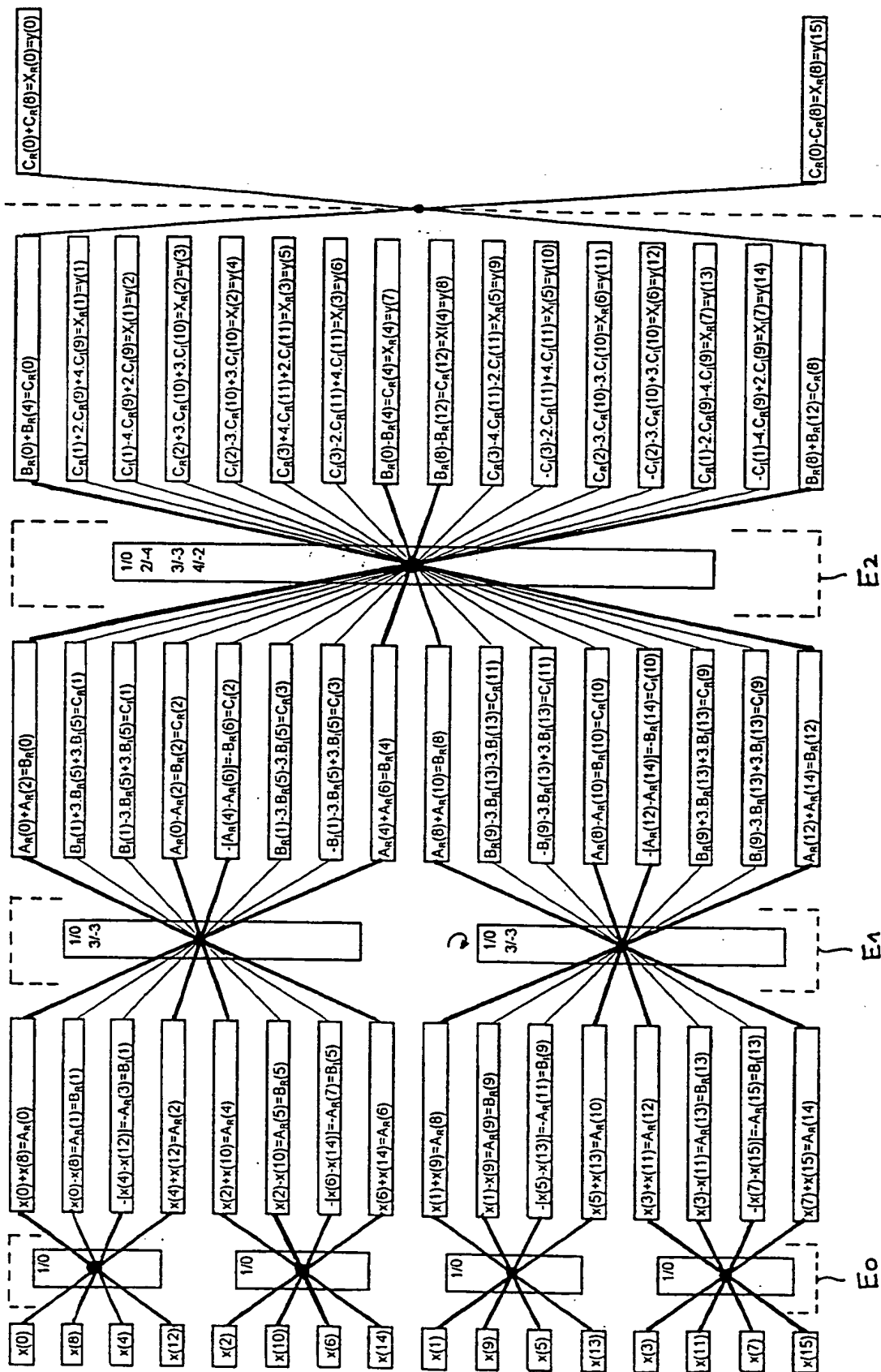


FIG. 10

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

9 / 17

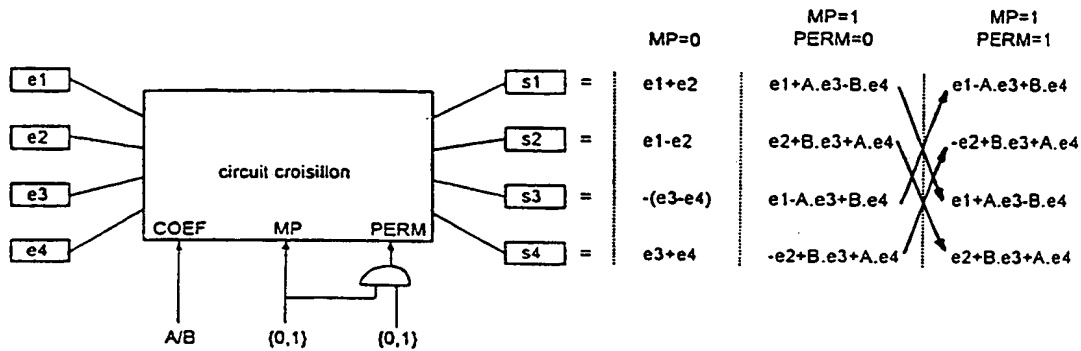


FIG.11

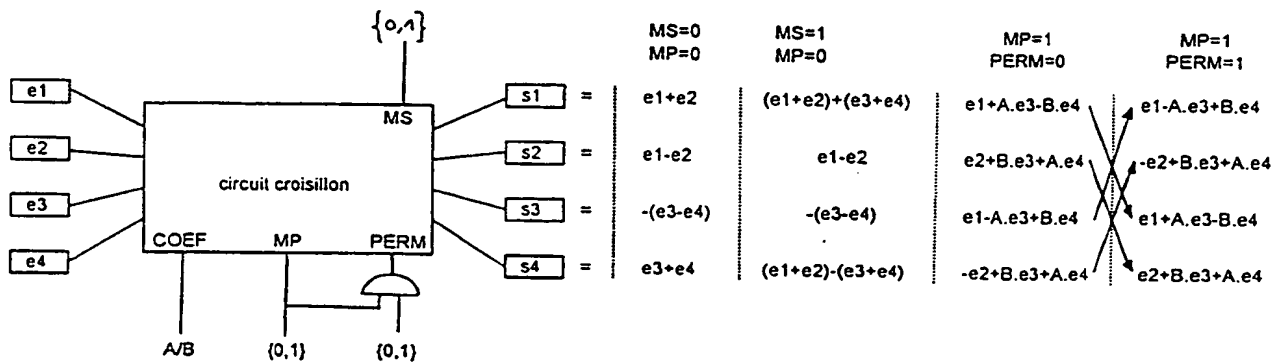


FIG.13

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

10 / 17

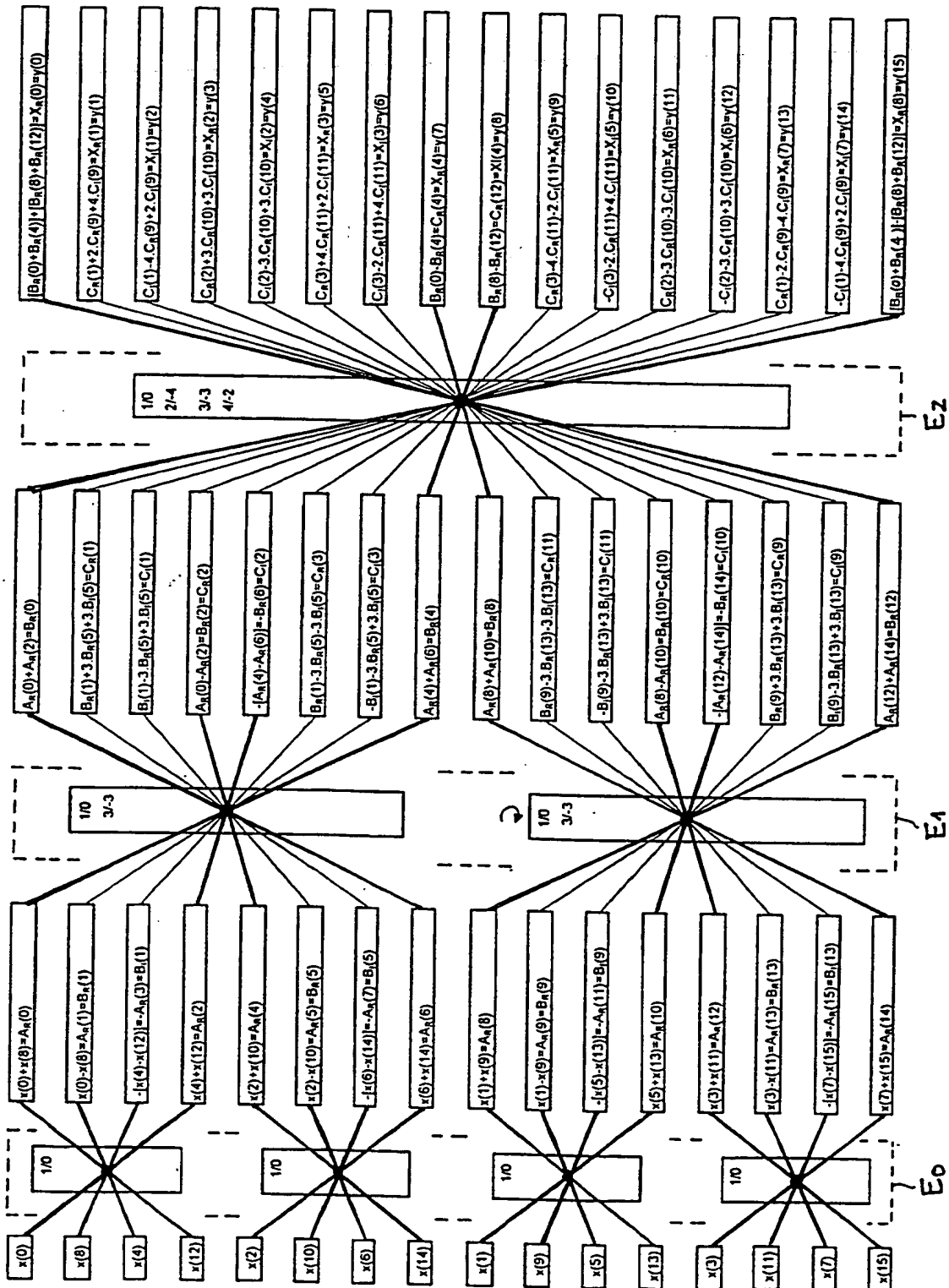


FIG.12

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

11 / 17

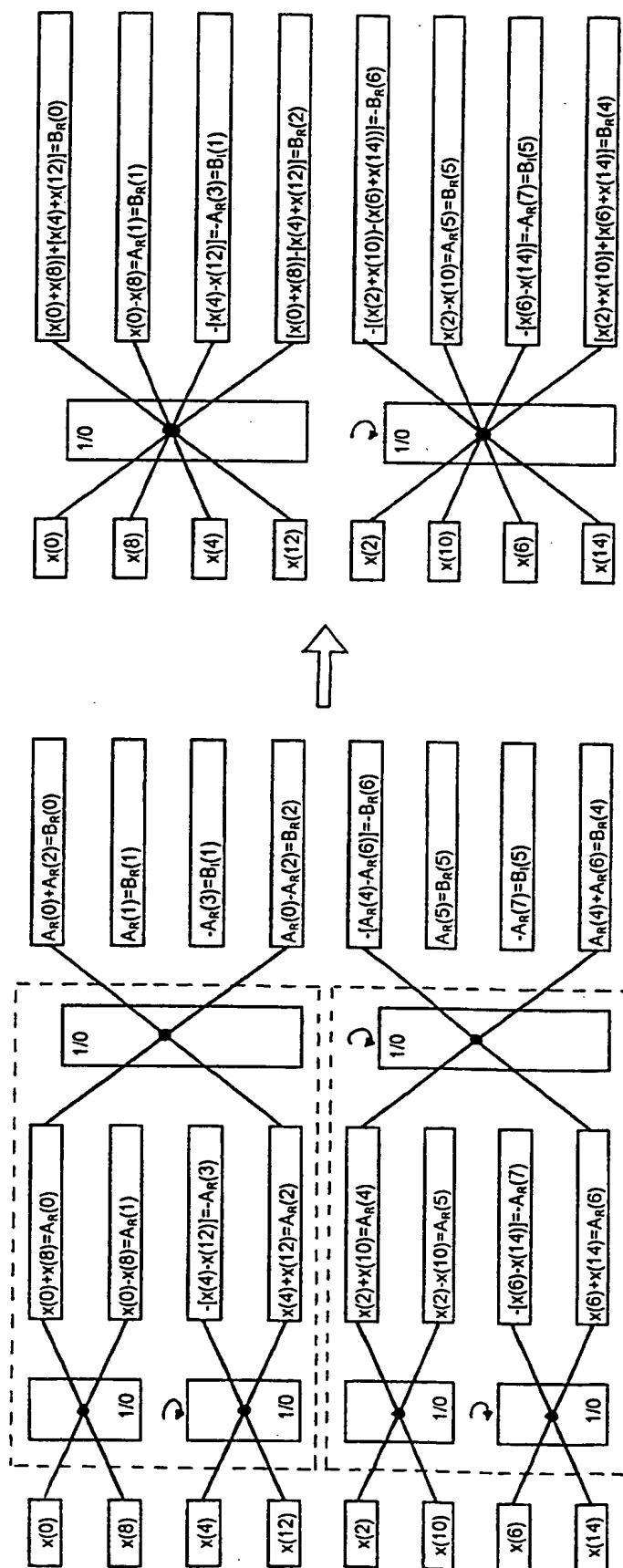


FIG. 14

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



12 / 17

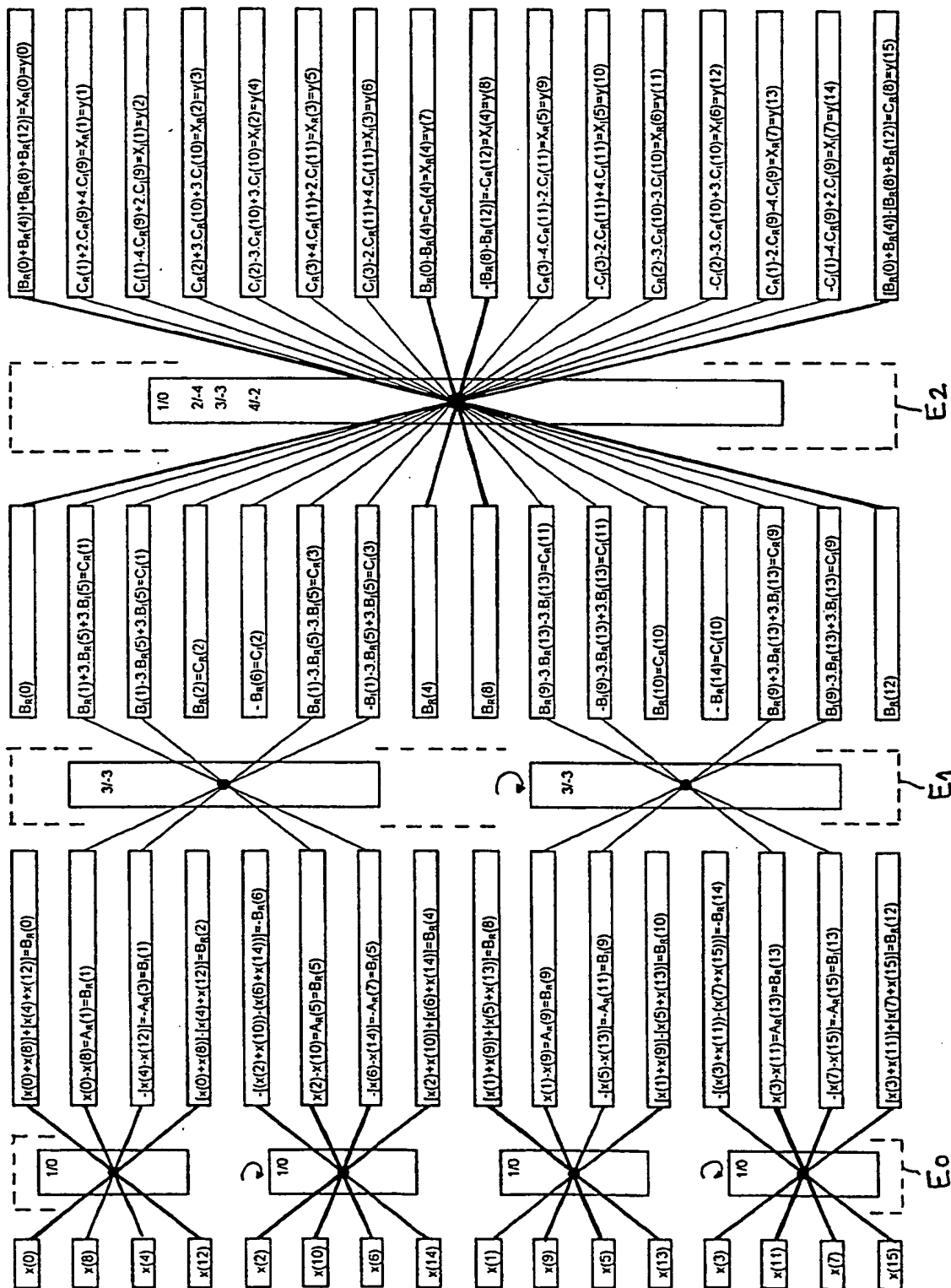


FIG. 15

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

13 / 17

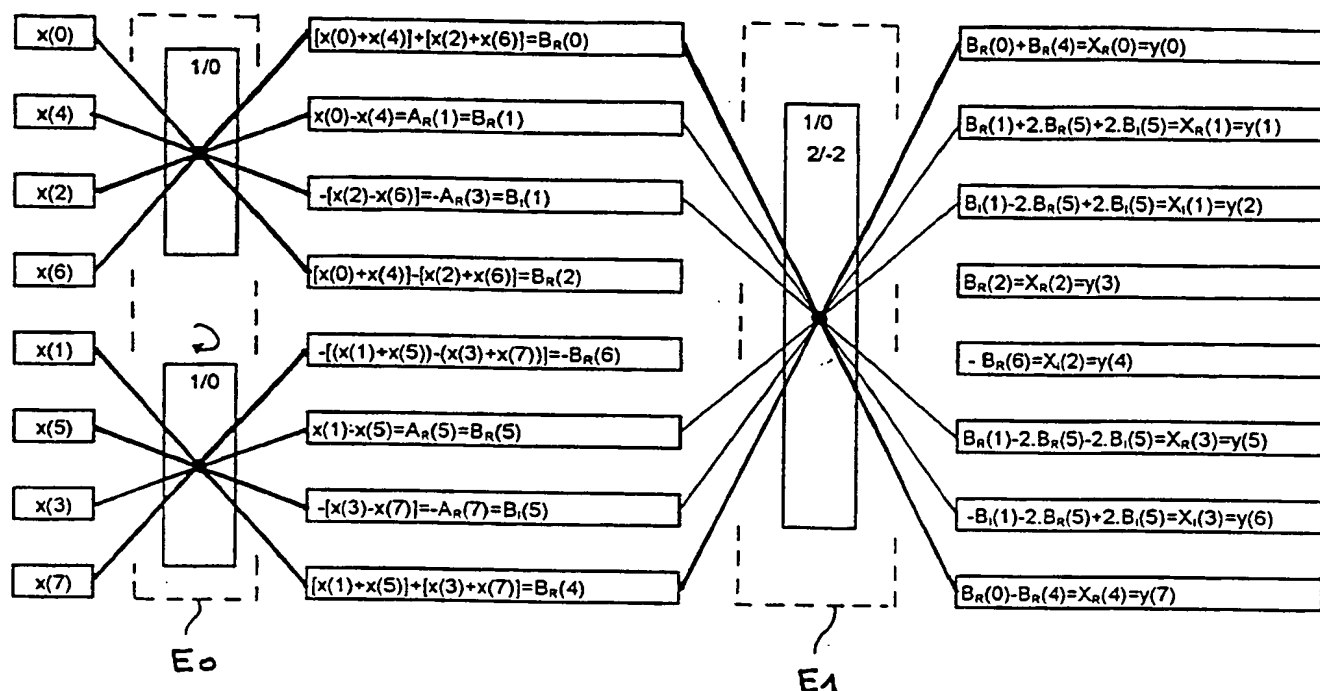


FIG. 16

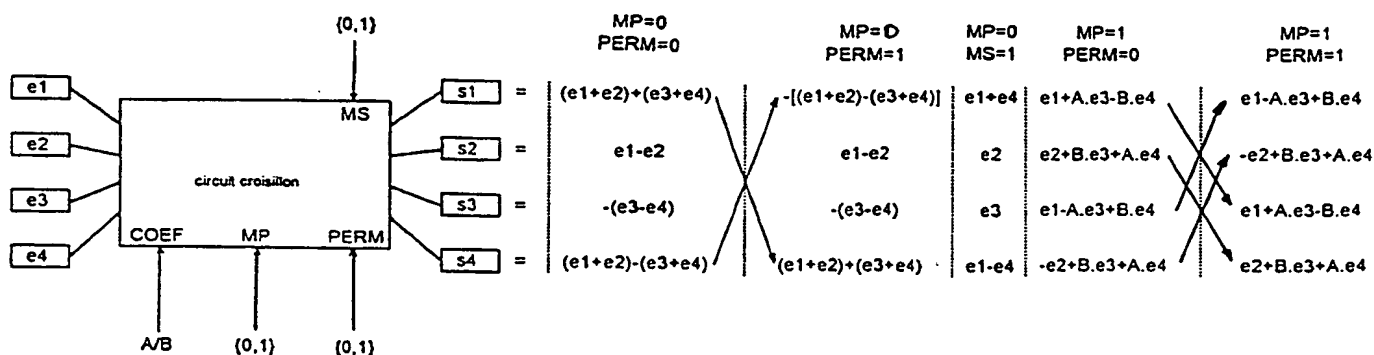


FIG. 17

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

14 / 17

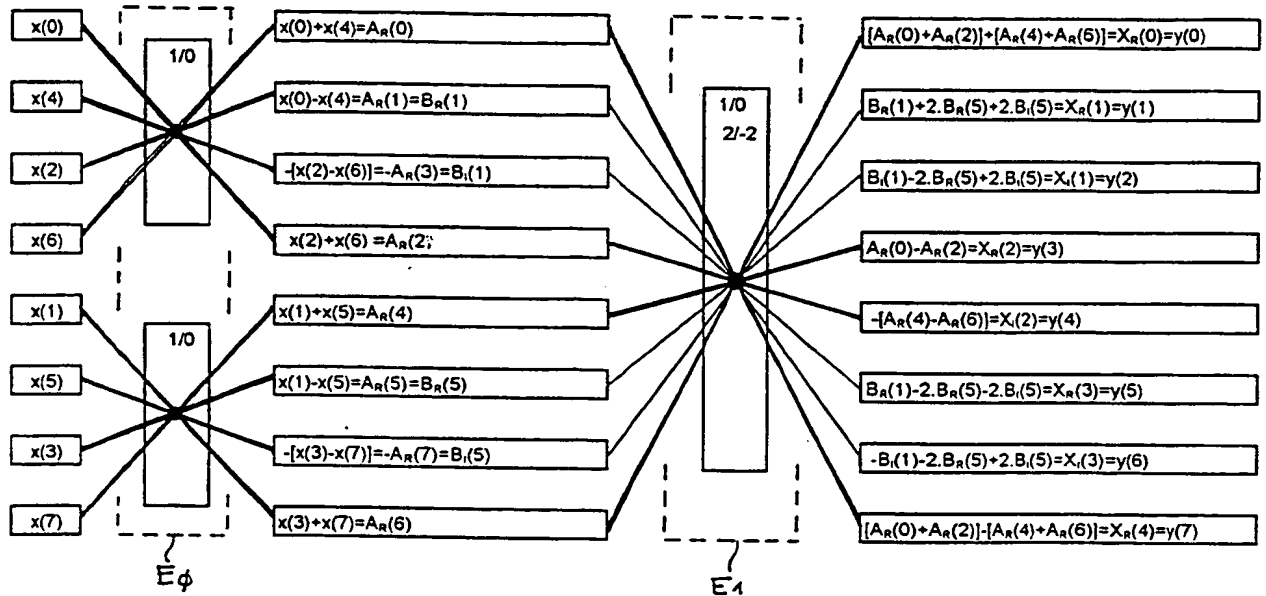


FIG. 18

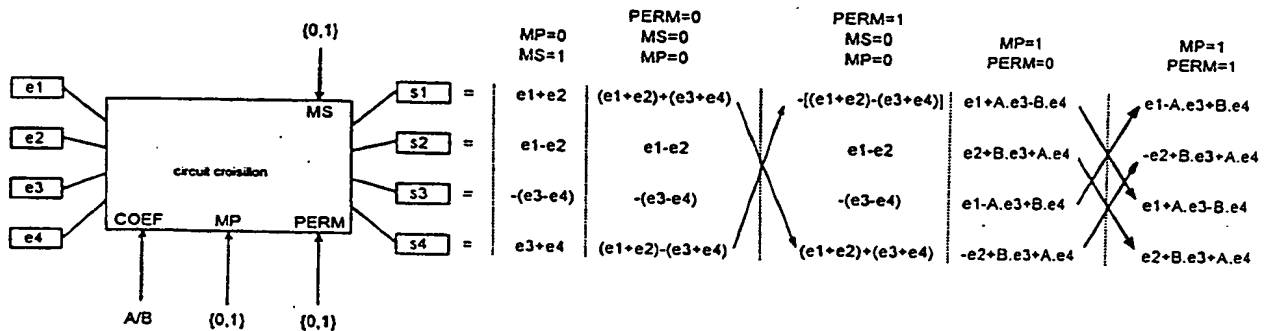


FIG. 19

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

15 / 17

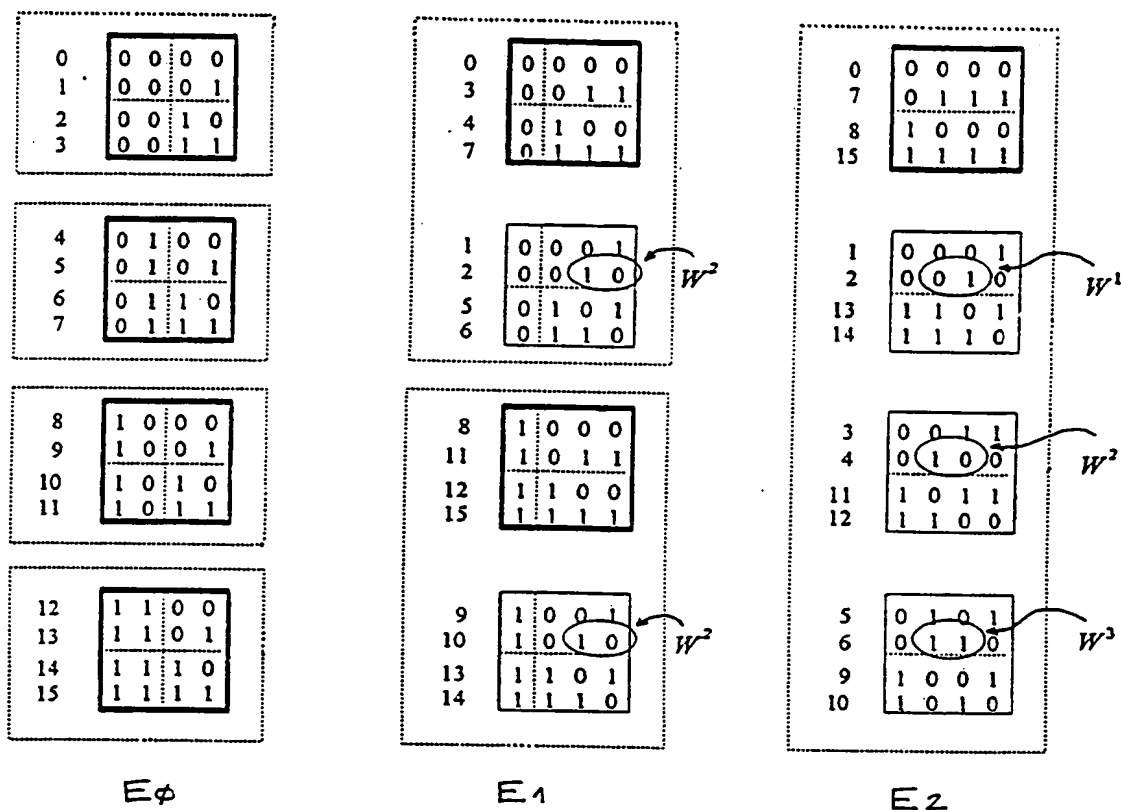


FIG. 20

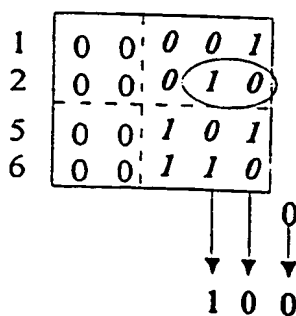
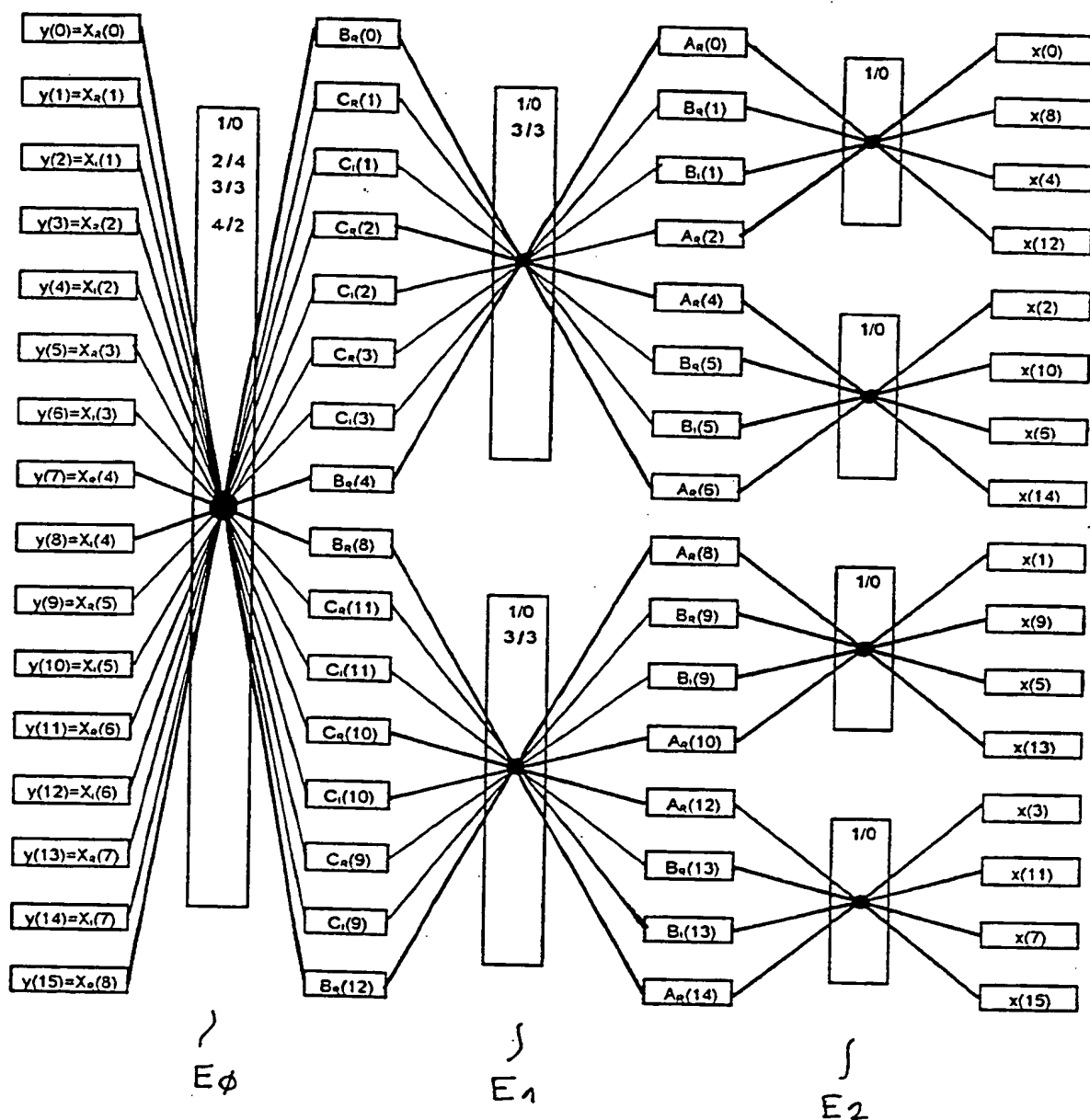
 $N = 32 \rightarrow \mu = 5$ 
 $p = 1$  (2<sup>e</sup> étape de transformation)


FIG. 21

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



16/17



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

17 / 17

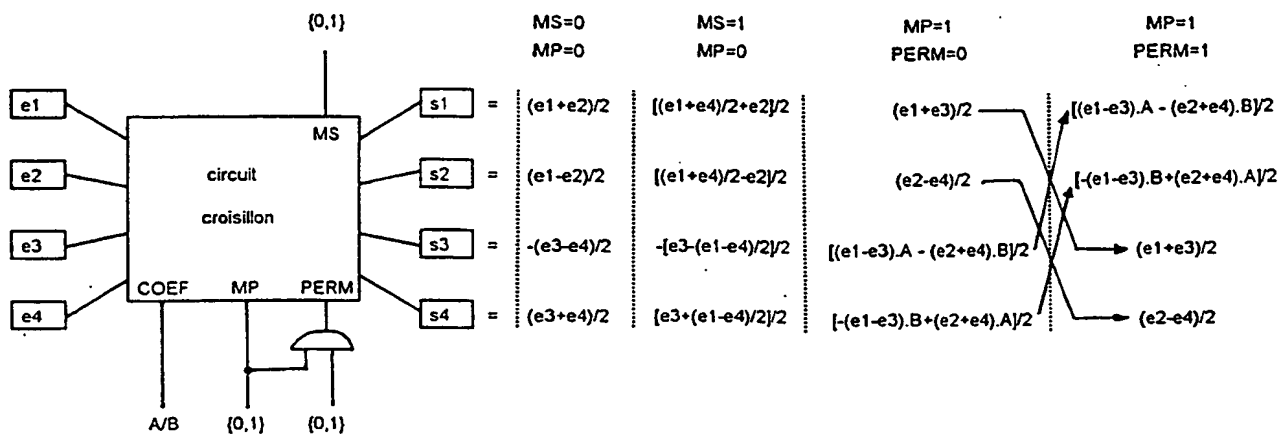


FIG.23

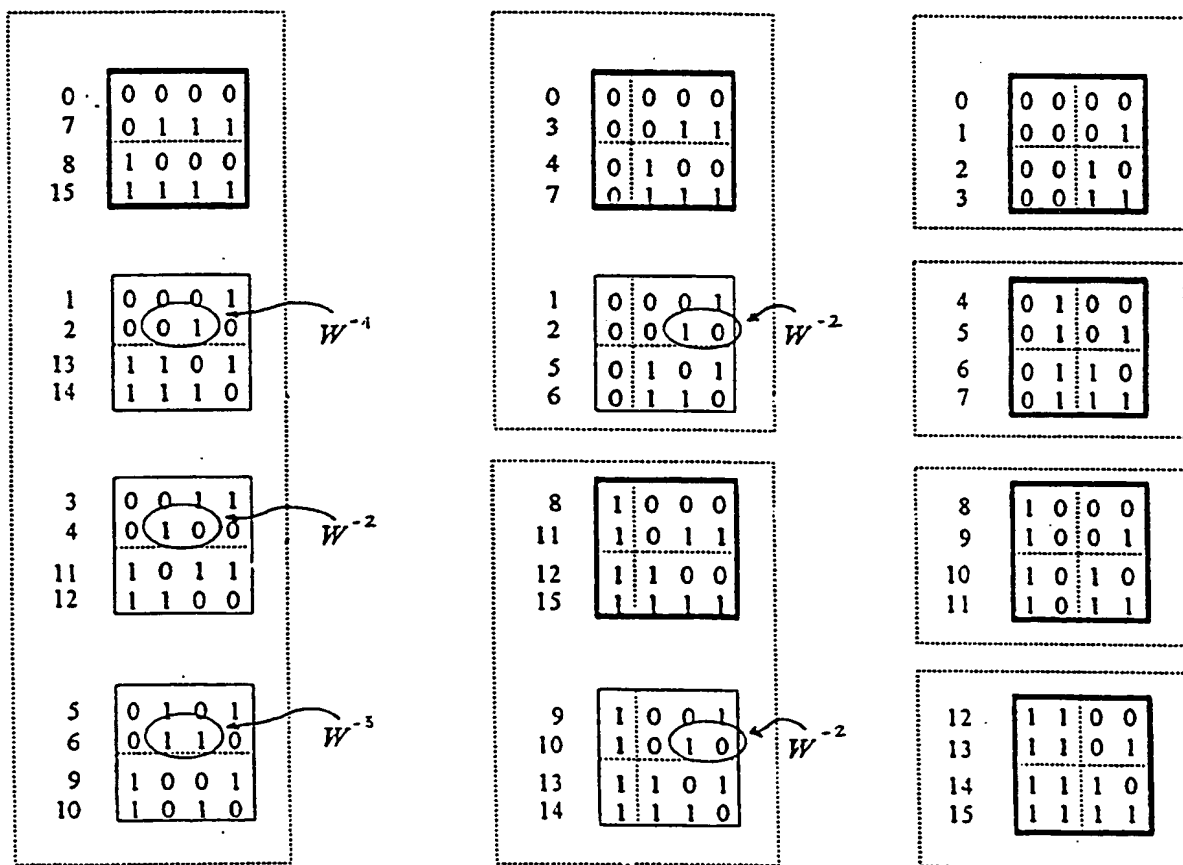


FIG.24

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 98/02636

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 6 G06F17/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	S. C. CHAN ET AL: "Software Implementaion of 2D FFT on DSP 96002 Digital Signal Processor" SIGNAL PROCESSING VI - THEORIES AND APPLICATIONS - PROCEEDINGS OF EUSIPCO-92 - SIXTH EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 24 - 27 August 1992, pages 1525-1528, XP000356534 BRUXELLES, BE	1-3
A	see the whole document	4-42
Y	S. L. JOHNSON: "Cooley-Tukey FFT on the Connection Machine" PARALLEL COMPUTING, vol. 18, no. 11, November 1992, pages 1201-1221, XP000330876 AMSTERDAM, NL	1-3
A	see the whole document	4-42

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "S" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 April 1999

Date of mailing of the international search report

11/05/1999

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Abram, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No

PCT/FR 98/02636

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 270 953 A (S. A. WHITE) 14 December 1993 see the whole document ----	1-42
A	US 4 612 626 A (J. D. MARCHANT) 16 September 1986 see the whole document -----	1-42

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 98/02636

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5270953	A	14-12-1993	NONE	
US 4612626	A	16-09-1986	NONE	

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demar. internationale No

PCT/FR 98/02636

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 6 G06F17/14

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G06F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	S. C. CHAN ET AL: "Software Implementaion of 2D FFT on DSP 96002 Digital Signal Processor" SIGNAL PROCESSING VI - THEORIES AND APPLICATIONS - PROCEEDINGS OF EUSIPCO-92 - SIXTH EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 24 - 27 août 1992, pages 1525-1528, XP000356534 BRUXELLES, BE	1-3
A	voir le document en entier ---	4-42
Y	S. L. JOHNSON: "Cooley-Tukey FFT on the Connection Machine" PARALLEL COMPUTING, vol. 18, no. 11, novembre 1992, pages 1201-1221, XP000330876 AMSTERDAM, NL	1-3
A	voir le document en entier ---	4-42
-/--		

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

30 avril 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

11/05/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Abram, R

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Deman .ternationale No

PCT/FR 98/02636

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 270 953 A (S. A. WHITE) 14 décembre 1993 voir le document en entier ---	1-42
A	US 4 612 626 A (J. D. MARCHANT) 16 septembre 1986 voir le document en entier -----	1-42

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Deman internationale No

PCT/FR 98/02636

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5270953    A	14-12-1993	AUCUN	
US 4612626    A	16-09-1986	AUCUN	

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

## PCT

REC'D 21 FEB 2000

WIPO PCT

### RAPPORT D'EXAMEN PRELIMINAIRE INTERNATIONAL

(article 36 et règle 70 du PCT)



Référence du dossier du déposant ou du mandataire 013770-PC.	<b>POUR SUITE A DONNER</b> voir la notification de transmission du rapport d'examen préliminaire international (formulaire PCT/IPEA/416)	
Demande internationale n° PCT/FR98/02636	Date du dépôt international (jour/mois/année) 07/12/1998	Date de priorité (jour/mois/année) 08/12/1997
Classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois classification nationale et CIB G06F17/14		
Déposant FRANCE TELECOM (SA) et al.		

- Le présent rapport d'examen préliminaire international, établi par l'administration chargée de l'examen préliminaire international, est transmis au déposant conformément à l'article 36.
- Ce RAPPORT comprend 5 feuilles, y compris la présente feuille de couverture.
  - ☒ Il est accompagné d'ANNEXES, c'est-à-dire de feuilles de la description, des revendications ou des dessins qui ont été modifiées et qui servent de base au présent rapport ou de feuilles contenant des rectifications faites auprès de l'administration chargée de l'examen préliminaire international (voir la règle 70.16 et l'instruction 607 des Instructions administratives du PCT).

Ces annexes comprennent 2 feuilles.

- Le présent rapport contient des indications relatives aux points suivants:

- I ☒ Base du rapport
- II ☐ Priorité
- III ☐ Absence de formulation d'opinion quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle
- IV ☐ Absence d'unité de l'invention
- V ☒ Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration
- VI ☐ Certains documents cités
- VII ☐ Irrégularités dans la demande internationale
- VIII ☒ Observations relatives à la demande internationale

Date de présentation de la demande d'examen préliminaire internationale 05/07/1999	Date d'achèvement du présent rapport 17.02.00
Nom et adresse postale de l'administration chargée de l'examen préliminaire international:  Office européen des brevets D-80298 Munich Tél. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Fonctionnaire autorisé Tibaux, M N° de téléphone +49 89 2399 2656 

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**RAPPORT D'EXAMEN  
PRELIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/FR98/02636

**I. Base du rapport**

1. Ce rapport a été rédigé sur la base des éléments ci-après (*les feuilles de remplacement qui ont été remises à l'office récepteur en réponse à une invitation faite conformément à l'article 14 sont considérées, dans le présent rapport, comme "initialement déposées" et ne sont pas jointes en annexe au rapport puisqu'elles ne contiennent pas de modifications.*) :

**Description, pages:**

1-38                      version initiale

**Revendications, N°:**

1,3-42                      version initiale

2                          reçue(s) le                      04/01/2000    avec la lettre du                      30/12/1999

**Dessins, feuilles:**

1/17-17/17                      version initiale

**2. Les modifications ont entraîné l'annulation :**

- ☐ de la description,      pages :
- ☐ des revendications,    n°s :
- ☐ des dessins,              feuilles :

3. ☐ Le présent rapport a été formulé abstraction faite (de certaines) des modifications, qui ont été considérées comme allant au-delà de l'exposé de l'invention tel qu'il a été déposé, comme il est indiqué ci-après (règle 70.2(c)) :

**4. Observations complémentaires, le cas échéant :**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**RAPPORT D'EXAMEN  
PRELIMINAIRE INTERNATIONAL**

Demande internationale n° PCT/FR98/02636

**V. Déclaration motivée selon l'article 35(2) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

**1. Déclaration**

Nouveauté	Oui : Revendications 1-42
	Non : Revendications
Activité inventive	Oui : Revendications 1-42
	Non : Revendications
Possibilité d'application industrielle	Oui : Revendications 1-42
	Non : Revendications

**2. Citations et explications**

**voir feuille séparée**

**VIII. Observations relatives à la demande internationale**

Les observations suivantes sont faites au sujet de la clarté des revendications, de la description et des dessins et de la question de savoir si les revendications se fondent entièrement sur la description :

**voir feuille séparée**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**Concernant le point V**

**Déclaration motivée selon la règle 66.2(a)(ii) quant à la nouveauté, l'activité inventive et la possibilité d'application industrielle; citations et explications à l'appui de cette déclaration**

- 1) Il est fait référence aux documents suivants :

D1: S. C. CHAN ET AL: "Software Implementation of 2D FFT on DSP 96002 Digital Signal Processor" SIGNAL PROCESSING VI - THEORIES AND APPLICATIONS - PROCEEDINGS OF EUSIPCO-92 - SIXTH EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 24 - 27 août 1992, pages 1525-1528, XP000356534 BRUXELLES, BE

D2 : US-A-5270953

- 2). L'invention concerne un procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide d'une suite de nombres réels ou d'une suite d'échantillons complexes conjugués.
- 3). Le problème résolu par l'invention est la suppression des redondances des mises en mémoire d'informations destinées à être traitées par les circuits croisillons.
- 4). L'idée d'utiliser comme ordre de délivrance des échantillons de sortie l'inverse de l'ordre des échantillons de départ est connue dans le cas d'échantillons complexes (voir D1, page 1525, colonne de gauche, dernier paragraphe) est connue, de même que de manière générale les méthodes de transformation "in-place" et la substitution en mémoire des échantillons de sortie aux échantillons d'entrée de rangs correspondants (D1, page 1526, colonne de gauche, 2e paragraphe).  
Par ailleurs, l'état de la technique comprend les circuits de traitement séparé des entrées pair/impaires et de calcul de somme des parties imaginaires (voir par exemple D2, revendication 3).
- 5). La solution consiste, dans le cas d'un signal numérique défini par une suite d'échantillons réels, à modifier les opérations de calcul effectuées par les circuits croisillons aboutissant à la définition des échantillons de sortie et à substituer en

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

mémoire les échantillons de sortie aux échantillons d'entrée de même rang correspondants de façon à délivrer les échantillons de sortie à la dernière étape de transformation dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ , selon les relations :

$$y(0) = \text{Re}[X(0)]$$

$$y(n) = \text{Re}[X((n+1)/2)] \quad \text{pour } n \text{ impair et différent de } N-1$$

$$y(n) = \text{Im}[X(n/2)] \quad \text{pour } n \text{ pair et différent de } 0$$

$$y(N-1) = \text{Re}[X(N/2)]$$

où les  $X(n)$  sont les échantillons complexes de la suite correspondant à la transformée de Fourier rapide.

Dans le cas d'une suite d'échantillons complexes conjugués (revendication 2), la solution consiste à effectuer le calcul sur une suite de  $N$  échantillons réels de départ  $y(n)$  représentative de la suite des  $N$  échantillons complexes  $X(n)$  conjugués deux à deux et définis par les relations ci-dessus.

- 6). La solution n'est ni divulguée ni suggérée dans l'état de la technique disponible.

### **Concernant le point VIII**

#### **Observations relatives à la demande internationale**

- 7). Contrairement à ce qu'exige la règle 5.1 a) ii) PCT, la description n'indique pas l'état de la technique antérieure pertinent exposé dans les documents D1 et D2 et ne cite pas ces documents.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

$$y(0) = \text{Re}[X(0)]$$

$$y(n) = \text{Re}[X((n+1)/2)] \quad \text{pour } n \text{ impair et différent de } N-1$$

$$y(n) = \text{Im}[X(n/2)] \quad \text{pour } n \text{ pair et différent de } 0$$

$$y(N-1) = \text{Re}[X(N/2)]$$

où les échantillons  $X(n)$ , avec  $n \in [0..N-1]$ , désignent les échantillons complexes de la suite correspondant à la transformée de Fourier rapide ou rapide inverse de la suite des échantillons de départ  $x(n)$ .

2. Procédé de calcul de la transformée de Fourier rapide ou de la transformée de Fourier rapide inverse d'un signal numérique défini par une suite de  $N$  échantillons complexes  $X(n)$  conjugués deux à deux, caractérisé en ce que le calcul est effectué sur une suite de  $N$  échantillons réels de départ  $y(n)$  représentative de la suite d'échantillons complexes  $X(n)$ , avec  $N$  puissance de deux et  $n \in [0..N-1]$ , les échantillons de départ  $y(n)$  étant définis de la manière suivante :

$$y(0) = \text{Re}[X(0)]$$

$$y(n) = \text{Re}[X((n+1)/2)] \quad \text{pour } n \text{ impair et différent de } N-1$$

$$y(n) = \text{Im}[X(n/2)] \quad \text{pour } n \text{ pair et différent de } 0$$

$$y(N-1) = \text{Re}[X(N/2)]$$

en ce que le procédé comporte des étapes successives de transformation pour transformer des échantillons d'entrée en échantillons de sortie, une suite de  $N$  échantillons de sortie  $x(n)$  réels représentatifs de cette transformée de Fourier rapide ou rapide inverse

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



étant délivrée à la dernière étape de transformation, l'ensemble des étapes de transformation étant effectué au moyen d'un unique jeu de circuits croisillons à plusieurs entrées et plusieurs sorties dont le mode opératoire est changé sélectivement à chaque étape de transformation, les échantillons d'entrée et de sortie de chaque étape de transformation étant stockés dans une mémoire de stockage, et en ce que les échantillons de sortie d'un circuit croisillon se substituent dans la mémoire de stockage aux échantillons d'entrée de même rang correspondants, de telle sorte que, si les échantillons de départ  $y(n)$  traités par la première étape de transformation sont classés dans l'ordre croissant de l'indice  $n$ , les échantillons de sortie  $x(n)$  sont délivrés à la dernière étape de transformation dans l'ordre binaire inverse de l'indice  $n$ .

3. Procédé de calcul selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, à chaque étape de transformation, chaque circuit croisillon transforme des couples d'échantillon d'entrée, les rangs des échantillons d'entrée d'un même couple dans la suite des échantillons d'entrée de ladite étape de transformation étant symétriques par rapport à un milieu entre les valeurs de rang extrêmes des échantillons d'entrée transformés par ledit circuit croisillon.

4. Procédé de calcul selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte  $\mu-1$  étapes de transformation  $E_p$  avec  $\mu = \log_2(N)$  et  $p \in [0.. \mu-2]$ .

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

09/581272

**A.R.T.**

International 416 Rec'd PCT/PTO 07 JUN 2000

SERVICE - TRADUCTION - INTERPRETATION

**CERTIFICATION OF TRANSLATION**

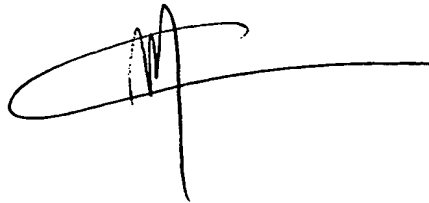
I, **MRS MICHEL**, the below named translator, hereby declare that :

My name and post office address are as stated below ;

**ART INTERNATIONAL 85, rue Galliéni 95170 DEUIL-LA-BARRE France**

I am conversant with the English and French languages and am a competent translator thereof. I declare further that to the best of my knowledge and belief the following is a true and correct translation of the International patent application as filed N° **PCT/FR98/02636** filed on **December 07, 1998** in the name of **FRANCE TELECOM (SA)** and **TELEDIFFUSION DE FRANCE (SA)**.

**Signed this 11th May 2000.**



---

SERVICE - TRADUCTION - INTERPRETATION

Traduction de tous documents

S.A. au capital de 250 000 F - R.C.S. B 392 830 337

B.P. 114 - 95170 DEUIL-LA-BARRE

Tél. 33 (1) 39.34.70.70 - Fax. 33 (1) 39.34.70.77

100-207-113

100-207-113

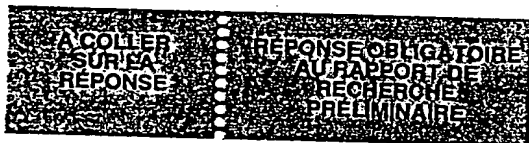
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

CABINET BALLOT SCHMIT

4 RUE DU GENERAL HOCHÉ , BP 855  
56108 LORIENT CEDEX

DEMANDE DE : BREVET  
N° : 9715737000 DU 08/12/97  
V/REF. : 013770-FR

PARIS, LE 11 SEPTEMBRE 1998



UN RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
OBLIGATOIRE

Messieurs,

J'ai l'honneur de vous adresser, en annexe, le rapport de recherche préliminaire établi conformément à l'article R.612-57 du code de la propriété intellectuelle, citant les documents qui peuvent être pris en considération pour apprécier la nouveauté et l'activité inventive de l'invention, objet de votre demande.

Selon l'article R.612-59 du code précité, vous disposez d'un délai de 3 mois à compter de la date de réception de ce rapport de recherche préliminaire pour y répondre par écrit. Avant l'expiration de ce délai, celui-ci peut être renouvelé une fois sur votre requête.

Suivant la catégorie des documents cités, vous pouvez être tenu à une obligation de réponse (par exemple, si le rapport de recherche préliminaire mentionne des documents de catégorie X ou Y). Dans ce cas, un papillon rouge est apposé sur cette lettre et le défaut de réponse entraînera le rejet de la demande. Dans le cas contraire, ce papillon est jaune.

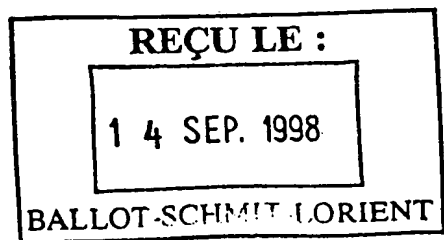
Dans tous les cas, il est de votre intérêt en élaborant votre réponse, de tenir compte de tous les documents cités.

Selon les articles R.612-58 et R.612-60 du code précité, votre réponse peut consister :

- soit en de nouvelles revendications (en 3 exemplaires). Dans ce cas, vous devez signaler les changements apportés aux revendications initiales. Vous pouvez y joindre des observations qui mettent en évidence les caractéristiques techniques de ces nouvelles revendications qui échappent à l'opposabilité des antériorités citées.

- soit seulement en des observations qui ont alors pour objet de discuter l'opposabilité des antériorités citées.

Veuillez agréer l'expression de ma considération distinguée.



Pour le Directeur général de l'Institut national  
de la propriété industrielle

Le Chef de la Division Technique des Brevets

Martine PLANCHE

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 553682  
FR 9715737

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	S. C. CHAN ET AL: "Software Implementaion of 2D FFT on DSP 96002 Digital Signal Processor" SIGNAL PROCESSING VI - THEORIES AND APPLICATIONS - PROCEEDINGS OF EUSIPCO-92 - SIXTH EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 24 - 27 août 1992, BRUXELLES, BE, pages 1525-1528, XP000356534	1-3
A	* le document en entier *	4-42
Y	S. L. JOHNSON: "Cooley-Tukey FFT on the Connection Machine" PARALLEL COMPUTING, vol. 18, no. 11, novembre 1992, AMSTERDAM, NL, pages 1201-1221, XP000330876	1-3
A	* le document en entier *	4-42
A	US 5 270 953 A (S. A. WHITE) 14 décembre 1993 * le document en entier *	1-42
A	US 4 612 626 A (J. D. MARCHANT) 16 septembre 1986 * le document en entier *	1-42
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		G06F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
25 août 1998		Abram, R
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul		
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général		
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention		
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.		
D : cité dans la demande.		
L : cité pour d'autres raisons		
& : membre de la même famille, document correspondant		

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO.**

FA 553682  
FR 9715737

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.  
ni de l'Administration française

25-08-1998

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5270953      A	14-12-1993	AUCUN	
US 4612626      A	16-09-1986	AUCUN	

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## PCT

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

(article 18 et règles 43 et 44 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire 013770-PC.	<b>POUR SUITE</b> voir la notification de transmission du rapport de recherche internationale (formulaire PCT/ISA/220) et, le cas échéant, le point 5 ci-après <b>A DONNER</b>	
Demande internationale n° PCT/FR 98/ 02636	Date du dépôt international (jour/mois/année) 07/12/1998	(Date de priorité (la plus ancienne) (jour/mois/année) 08/12/1997
Déposant  FRANCE TELECOM (SA) et al.		

Le présent rapport de recherche internationale, établi par l'administration chargée de la recherche internationale, est transmis au déposant conformément à l'article 18. Une copie en est transmise au Bureau international.

Ce rapport de recherche internationale comprend 3 feuilles.



Il est aussi accompagné d'une copie de chaque document relatif à l'état de la technique qui y est cité.

**1. Base du rapport**

- a. En ce qui concerne la langue, la recherche internationale a été effectuée sur la base de la demande internationale dans la langue dans laquelle elle a été déposée, sauf indication contraire donnée sous le même point.



la recherche internationale a été effectuée sur la base d'une traduction de la demande internationale remise à l'administration.

- b. En ce qui concerne les séquences de nucléotides ou d'acides aminés divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), la recherche internationale a été effectuée sur la base du listage des séquences :



contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.



déposée avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.



remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.



remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.



La déclaration, selon laquelle le listage des séquences présenté par écrit et fourni ultérieurement ne va pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.



La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous forme déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listage des séquences présenté par écrit, a été fournie.

2.



Il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (voir le cadre I).

3.



Il y a absence d'unité de l'invention (voir le cadre II).

4. En ce qui concerne le titre,



le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant.



Le texte a été établi par l'administration et a la teneur suivante:

5. En ce qui concerne l'abrégé,



le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant



le texte (reproduit dans le cadre III) a été établi par l'administration conformément à la règle 38.2b). Le déposant peut présenter des observations à l'administration dans un délai d'un mois à compter de la date d'expédition du présent rapport de recherche internationale.

6. La figure des dessins à publier avec l'abrégé est la Figure n°



suggérée par le déposant.



parce que le déposant n'a pas suggéré de figure.



parce que cette figure caractérise mieux l'invention.

8



Aucune des figures n'est à publier.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 98/02636

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 6 G06F17/14

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 G06F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	S. C. CHAN ET AL: "Software Implementaion of 2D FFT on DSP 96002 Digital Signal Processor" SIGNAL PROCESSING VI - THEORIES AND APPLICATIONS - PROCEEDINGS OF EUSIPCO-92 - SIXTH EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 24 - 27 août 1992, pages 1525-1528, XP000356534 BRUXELLES, BE	1-3
A	voir le document en entier ---	4-42
Y	S. L. JOHNSON: "Cooley-Tukey FFT on the Connection Machine" PARALLEL COMPUTING, vol. 18, no. 11, novembre 1992, pages 1201-1221, XP000330876 AMSTERDAM, NL	1-3
A	voir le document en entier ---	4-42
-/--		



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

## \* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

30 avril 1999

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

11/05/1999

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Abram, R

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dep. Internationale No  
PCT/FR 98/02636

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 270 953 A (S. A. WHITE) 14 décembre 1993 voir le document en entier ---	1-42
A	US 4 612 626 A (J. D. MARCHANT) 16 septembre 1986 voir le document en entier -----	1-42

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres des familles de brevets

Dernière Internationale No

PCT/FR 98/02636

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5270953      A	14-12-1993	AUCUN	
US 4612626      A	16-09-1986	AUCUN	

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

5000

Applicant's or agent's file reference 013770-PC.	<b>FOR FURTHER ACTION</b> See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/FR98/02636	International filing date (day/month/year) 07 December 1998 (07.12.98)	Priority date (day/month/year) 08 December 1997 (08.12.97)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC G06F 17/14		
Applicant FRANCE TELECOM (S.A.)		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 5 sheets, including this cover sheet.

☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 2 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☒ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 05 July 1999 (05.07.99)	Date of completion of this report 17 February 2000 (17.02.2000)
Name and mailing address of the IPEA/EP  Facsimile No.	Authorized officer  Telephone No.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/FR98/02636

## I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of *(Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.)*:

- ☐ the international application as originally filed.
- ☒ the description, pages 1-38, as originally filed,  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_,  
 pages \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.
- ☒ the claims, Nos. 1, 3-42, as originally filed,  
 Nos. \_\_\_\_\_, as amended under Article 19,  
 Nos. \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 Nos. 2, filed with the letter of 30 December 1999 (30.12.1999),  
 Nos. \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.
- ☒ the drawings, sheets/fig 1/17-171/17, as originally filed,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the demand,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_,  
 sheets/fig \_\_\_\_\_, filed with the letter of \_\_\_\_\_.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages \_\_\_\_\_
- ☐ the claims, Nos. \_\_\_\_\_
- ☐ the drawings, sheets/fig \_\_\_\_\_

3. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

national application No.  
PCT/FR 98/02636

## V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

### 1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-42	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-42	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-42	YES
	Claims		NO

### 2. Citations and explanations

#### 1) Reference is made to the following documents:

D1: S.C. CHAN ET AL: "Software implementation of 2D FFT on DSP 96002 Digital Signal Processor" SIGNAL PROCESSING VI - THEORIES AND APPLICATIONS - PROCEEDINGS OF EUSIPCO-92 - SIXTH EUROPEAN SIGNAL PROCESSING CONFERENCE, 24-27 August 1992, pages 1525-1528, XP000356534 Brussels, BE

D2: US-A-5270953

#### 2) The invention relates to a method for computing the fast Fourier transform of a series of real numbers or a series of complex conjugated samples.

#### 3) The problem solved by the invention is eliminating the redundancy of storing data to be processed by crossbar circuits.

#### 4) The idea of using as the output sample delivery order, the reverse of the initial sample order, is known in the case of complex samples (see D1, page 1525, left-hand column, final paragraph) and, generally speaking, the in-place methods of

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



transformation and the substitution in memory of output samples for input samples having corresponding ranks are also known (D1, page 1526, left-hand column, second paragraph).

Moreover, the prior art includes circuits for processing the odd/even inputs separately and computing the sum of the imaginary portions (see, for example, D2, Claim 3).

- 5) In the case of a digital signal defined by a series of real samples, the solution consists of modifying the computing operations carried out by the crossbar circuits leading to the definition of output samples, and substituting in the memory the output samples for the corresponding input samples having the same rank so as to deliver the output samples to the final stage of transformation in the ascending order of index  $n$ , according to the relationships:

$$y(0) = \text{Re}[X(0)]$$

$$y(n) = \text{Re}[X((n+1)/2)] \quad \text{when } n \text{ is odd and different from } N-1$$

$$y(n) = \text{Im}[X(n/2)] \quad \text{when } n \text{ is even and different from } 0$$

$$y(N-1) = \text{Re}[X(N/2)]$$

wherein the  $X(n)$  are complex samples from the series corresponding to the fast Fourier transform.

In the case of a series of complex conjugated samples (Claim 2), the solution consists of carrying out a computation on a series of  $N$  real initial samples  $y(n)$  representative of the series of  $N$  complex samples  $X(n)$  conjugated in pairs and defined by the above relationships.

- 6) The solution is not disclosed in, or suggested by, the available prior art.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

# INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/FR 98/02636

## VIII. Certain observations on the international application

The following observations on the clarity of the claims, description, and drawings or on the question whether the claims are fully supported by the description, are made:

- 7) Contrary to the requirements of PCT Rule 5.1 (a)(ii), the description does not indicate the relevant prior art disclosed in documents D1 and D2, nor does it cite this document.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**